

501.39484X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): YAMADA, ET AL.

Serial No.:

Filed: January 24, 2001

Title: SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT DEVICE
AND PROCESS FOR MANUFACTURING THE SAME

Group:

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

January 24, 2001

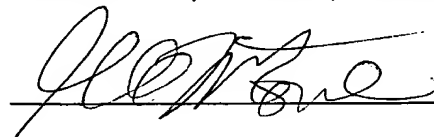
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Patent Application No.(s) 2000-015604 filed January 25, 2000.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Gregory. E. Montone
Registration No. 28,141

GEM/mdt
Attachment
(703)312-6600



日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2000年 1月25日

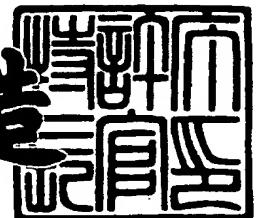
出 願 番 号
Application Number: 特願2000-015604

出 願 人
Applicant (s): 株式会社日立製作所

2000年 9月22日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3076689

【書類名】 特許願

【整理番号】 H99027191

【提出日】 平成12年 1月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 27/10

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 1 6 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 山田 悟

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 1 6 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 大湯 静憲

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 木村 紳一郎

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100080001

【弁理士】

【氏名又は名称】 筒井 大和

【電話番号】 03-3366-0787

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006909

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体集積回路装置の製造方法および半導体集積回路装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板に形成された電界効果トランジスタと、前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域に接合された容量素子とを有するメモリセルを複数設けた半導体集積回路装置の製造方法において、

(a) 前記半導体基板に底部角の曲率半径が 1 0 n m よりも大きい溝を形成する工程と、

(b) 前記溝の内部にデポジション法により第 1 のゲート絶縁膜を形成する工程と、

(c) 前記溝の内部の前記第 1 のゲート絶縁膜上にゲート電極を埋め込む工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記溝の内壁を酸化することによって第 2 のゲート絶縁膜を形成する工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記溝を形成する工程は、相対的に異方性の強いエッチング条件でエッチング処理を行った後、溝の深さ方向の途中で溝内の角部を丸めるようなエッチング条件に切り換えてエッチング処理を行う工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 4】 半導体基板に電界効果トランジスタを形成する際に、

(a) 前記半導体基板に溝を形成する工程と、

(b) 前記溝の内部にゲート絶縁膜を形成する工程と、

(c) 前記溝の内部に、前記溝内の半導体基板との間に前記ゲート絶縁膜が介在された状態で、全部または一部が埋め込まれるようにゲート電極を形成する工程と、

(d) 前記半導体基板にソース・ドレイン用の半導体領域を形成する工程とを有し、

前記 (a) 工程は、前記電界効果トランジスタのサブスレッショルド係数が所

定値を越えないように、前記溝内の底部角を丸く形成する工程を有し、

前記（b）工程は、前記ゲート絶縁膜をデポジション法によって形成する工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 5】 請求項 4 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、

前記（a）工程は、相対的に異方性の強いエッチング条件でエッチング処理を行った後、溝の深さ方向の途中で溝内の角部を丸めるようなエッチング条件に切り換えてエッチング処理を行う工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 6】 請求項 4 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、

前記（b）工程は、前記ゲート絶縁膜の一部を前記溝の内壁を酸化することにより形成する工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 7】 請求項 4 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、

前記溝内の底部角の曲率半径が 1 0 n m 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 8】 半導体基板内に、素子分離部と、前記素子分離部をまたぐように形成された配線とを有する半導体集積回路装置の製造方法において、

- （a）前記半導体基板に第 1 の溝を形成する工程と、
- （b）前記第 1 の溝の中に絶縁膜を形成し、素子分離部を形成する工程と、
- （c）前記素子分離部をまたぐ開口を有するマスクを形成する工程と、
- （d）前記開口によって露出された素子分離部に第 2 の溝を形成する工程と、
- （e）前記開口および第 2 の溝によって露出された半導体基板に第 3 の溝を形成する工程と、
- （f）前記第 2 および第 3 の溝の中に前記配線を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 9】 請求項 8 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記半導体基板の主面に対する前記第 1 及び第 3 の溝の側壁の傾斜角度は 9 0 度よりも小さいことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 0】 半導体基板内に形成された素子分離部と、前記素子分離部をまたいで形成された第 1 の配線と、前記第 1 の配線の一部をゲート電極として

、前記ゲート電極の両側にソース・ドレイン領域を有する電界効果トランジスタとを有する半導体集積回路装置の製造方法において、

- (a) 前記半導体基板をエッチングして第 1 の溝を形成する工程と、
- (b) 前記第 1 の溝の内部に絶縁体膜を形成し、素子分離部を形成する工程と、
- (c) 前記素子分離部をまたいで形成された第 1 の開口を有するマスクを形成する工程と、
- (d) 前記第 1 の開口によって露出された素子分離部をエッチングして、第 2 の溝を形成する工程と、
- (e) 前記第 1 の開口及び第 2 の溝によって露出された半導体基板をエッチングして、第 3 の溝を形成する工程と、
- (f) 前記第 3 の溝の内壁にゲート絶縁膜を形成する工程と、前記第 2 及び第 3 の溝の内部に第 1 の配線を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 1】 請求項 1 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記半導体基板の主面に対する前記第 1 および第 3 の溝の側壁の傾斜角度は 90 度よりも小さいことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 2】 請求項 1 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 1 の溝および第 3 の溝の側面には、順テーパが形成されていることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 3】 請求項 1 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 1 の溝は、前記第 2 の溝よりも 1 0 0 n m 以上深いことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 4】 請求項 1 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 3 の溝を形成する工程は、更に前記半導体基板のエッチングによって形成された溝の内壁を酸化する工程と、前記酸化による酸化膜を除去する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 5】 請求項 1 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 3 の溝は、前記第 2 の溝よりも深いことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 6】 請求項 1 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 1 の溝は、前記第 3 の溝よりも深いことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 7】 (a) 半導体基板に第 1 の溝を形成する工程と、
 (b) 前記第 1 の溝の中に分離用絶縁膜を形成することにより分離部を形成する工程と、
 (c) 前記半導体基板上に、前記分離部および前記半導体基板の両方が露出される開口部を有するマスクを形成する工程と、
 (d) 前記開口部から露出された分離部に第 2 の溝を形成した後、前記開口部および第 2 の溝から露出された半導体基板に第 3 の溝を形成する工程と、
 (e) 前記第 2 および第 3 の溝内の半導体基板の表面に絶縁膜を形成する工程と、
 (f) 前記第 2 および第 3 の溝内に配線を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 8】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 2 の溝を形成する際に、前記 (f) 工程後の段階で、前記第 2 の溝の内部に形成された配線の下方に寄生素子が形成されないように、前記第 2 の溝の底部に前記分離用絶縁膜を残すことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 9】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記 (f) 工程後の段階で、前記第 2 の溝内の配線と半導体基板との間に残される前記分離用絶縁膜の厚さが 1 0 0 n m 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 0】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 3 の溝を形成する際に、前記第 3 の溝の深さを、前記第 2 の溝よりも深くすることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 1】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 1 および第 3 の溝の開口側の寸法は、底面側の寸法よりも広いことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 2】 請求項 2 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

、前記第 1 および第 3 の溝の側面に順テーパを形成することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 3】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記（d）工程後、前記（e）工程前に、前記第 2 および第 3 の溝の内部を酸化する酸化工程と、前記酸化工程によって形成された酸化膜を除去する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 4】 請求項 2 3 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記（e）工程は、前記絶縁膜をデポジション法によって形成する工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 5】 請求項 2 3 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記（e）工程の絶縁膜の形成処理は、前記半導体基板の表面を酸化することにより第 1 のゲート絶縁膜を形成する工程と、前記第 1 のゲート絶縁膜表面を覆うようにデポジション法によって第 2 のゲート絶縁膜を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 6】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記配線の形成工程は、前記第 2 および第 3 の溝内に前記配線を形成するための第 1 の膜を埋め込む工程と、前記第 1 の膜を、その一部が前記第 2 および第 3 の溝内に残るように除去する工程と、前記第 2 および第 3 の溝内に残された第 1 の膜の表面の窪みを埋め込む第 2 の膜を形成する工程と、前記第 2 の膜形成後の前記第 1 の膜を、その一部が第 2 および第 3 の溝内に残るように除去する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 7】 請求項 2 6 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記配線の形成後、前記半導体基板上に第 1 の絶縁膜を堆積した後、その第 1 の絶縁膜を、その一部が前記第 2 および第 3 の溝内に残るように除去することにより、前記第 2 および第 3 の溝内において配線上に第 1 の絶縁膜を形成する工程を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 8】 請求項 2 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 1 の絶縁膜を第 2 および第 3 の溝内に形成した後、前記半導体基板上に第 2 の絶縁膜を堆積する工程と、前記第 2 の絶縁膜に、前記半導体基板の一部が

露出する孔を穿孔する工程とを有し、

前記孔の形成工程においては、前記第 2 の絶縁膜の方が、前記第 1 の絶縁膜よりもエッチング速度が速くなるような条件でエッチング処理を施すことにより、前記孔を形成することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 9】 請求項 2 8 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記孔内に導体膜を埋め込んだ後、その導体膜から半導体基板への不純物拡散によって半導体基板に半導体領域を形成することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 0】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記配線は、多結晶シリコン膜、シリサイド膜または金属膜あるいはそれらの積層膜を有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 1】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記（e）工程の絶縁膜は、電界効果トランジスタのゲート絶縁膜を形成し、前記（f）工程の配線は、前記電界効果トランジスタのゲート電極を形成することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 2】 請求項 1 7 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記（f）工程後、前記半導体基板の分離部に囲まれた活性領域に前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン用の一対の半導体領域を形成する工程と、前記一対の半導体領域のいずれか一方に接続される情報記憶用の容量素子を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 3】 （a）半導体基板に素子分離部を形成する工程と、
（b）前記半導体基板上に開口を有するマスクを形成する工程と、
（c）前記開口から露出された半導体基板に第 1 の溝を形成する工程と、
（d）前記第 1 の溝の中に第 1 の膜を形成する工程と、
（e）前記第 1 の膜の一部が前記第 1 の溝の中に残るように前記第 1 の膜の一部を除去する工程と、
（f）前記第 1 の膜の表面の窪みを埋めるように第 2 の膜を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 4】 半導体基板上に形成された埋め込みゲート電極を有する電

界効果トランジスタと、前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域の少なくとも一方に電氣的に接続された容量素子を有するメモリセルを複数有する半導体集積回路装置の製造方法において、

- (a) 前記半導体基板に第 1 の半導体領域を形成する工程と、
- (b) 前記半導体基板に第 1 の溝を形成する工程と、
- (c) 前記第 1 の溝の中にゲート絶縁膜、ゲート電極および第 1 の絶縁膜を形成する工程と、
- (d) 前記第 1 の絶縁膜の上を含む半導体基板上に第 2 の絶縁膜を形成する工程と、
- (e) 前記第 2 の絶縁膜に対するエッチング速度が第 1 の絶縁膜に対するエッチング速度よりも速い方法で、前記第 2 の絶縁膜に、前記第 1 の半導体領域と平面的に重なる開口を形成する工程と、
- (f) 前記開口の中に導電体膜を形成する工程と、
- (g) 前記導電体膜からの不純物の拡散によって前記半導体基板に第 2 の半導体領域を形成し、前記第 1 および第 2 の半導体領域によって、前記ソース・ドレイン領域を形成する工程とを有することを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 5】 請求項 3 4 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記第 1 の絶縁膜は窒化シリコン膜によって構成され、前記第 2 の絶縁膜は酸化シリコン膜によって構成されることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 6】 半導体基板に形成された電界効果トランジスタを有する半導体集積回路装置において、前記電界効果トランジスタは、前記半導体基板に形成された溝と、前記溝の内部に形成されたゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上に形成されたゲート電極と、前記ゲート電極の両側の半導体基板に形成されたソース・ドレイン領域を有し、

前記ゲート絶縁膜はデポジション法で形成された絶縁膜を有し、前記溝は角部の曲率半径が 1 0 n m 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 3 7】 請求項 3 6 記載の半導体集積回路装置において、前記電界

効果トランジスタと、前記ソース・ドレイン領域に接続された容量素子とを有するメモリセルを複数有することを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 3 8】 半導体基板に形成された電界効果トランジスタを有する半導体集積回路装置において、前記電界効果トランジスタは、前記半導体基板に形成された溝と、前記溝の内部に形成されたゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上に形成されたゲート電極と、前記ゲート電極の両側の半導体基板に形成されたソース・ドレイン領域を有し、

前記ゲート絶縁膜はデポジション法で形成された絶縁膜を有し、前記溝において、前記ソース・ドレイン領域の間のチャンネル形成領域における曲率半径が 1 0 nm よりも大きいことを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 3 9】 半導体基板に形成された溝と、前記溝の内部に形成されたゲート絶縁膜と、前記溝の内部に、前記溝内の半導体基板との間に前記ゲート絶縁膜を介在した状態で、全部または一部が埋め込まれたゲート電極とを含む電界効果トランジスタを有し、前記ゲート絶縁膜はデポジション法によって形成された絶縁膜を有し、前記溝内の底部角に丸みを形成したことを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 0】 半導体基板に、埋め込みゲート電極型の電界効果トランジスタと、前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域の少なくとも一方に電氣的に接続した容量素子とを有するメモリセルを複数有する半導体集積回路装置において、

前記半導体基板には、前記ソース・ドレイン領域とは逆導電型にされ、前記埋め込みゲート電極よりも深い位置までに形成された第 1 の半導体領域を有し、

前記容量素子に接続したソース・ドレイン領域は、第 1 の半導体領域よりも浅い位置までに形成された第 2 の半導体領域と、前記第 2 の半導体領域よりも浅い位置までに形成された第 3 の半導体領域とを有し、前記第 3 の半導体領域の不純物濃度は、前記第 2 の半導体領域の不純物濃度よりも高いことを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 1】 半導体基板に形成された第 1 の溝の中にはゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜の上のゲート電極と、前記ゲート電極の上の第 1 の絶縁膜を

有し、

前記第 1 の溝の周囲の半導体基板には、前記第 1 の溝よりも深い位置まで形成された第 1 の導電型の第 1 の半導体領域と、前記第 1 の半導体領域の上に形成された前記第 1 の導電型と逆導電型の第 2 の半導体領域と、前記第 2 の半導体領域の上に形成された前記第 2 の半導体領域と同導電型の第 3 の半導体領域を有し、

前記第 3 の半導体領域の不純物濃度は、前記第 2 の半導体領域の不純物濃度よりも高いことを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 2】 請求項 4 1 記載の半導体集積回路装置において、前記第 3 の半導体領域と第 2 の半導体領域との境界は、前記ゲート電極の上面よりも浅い位置に形成されていることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 3】 請求項 4 2 記載の半導体集積回路装置において、前記第 3 の半導体領域と第 2 の半導体領域との境界は、前記ゲート電極の上部から離れた位置に形成されていることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 4】 請求項 4 3 記載の半導体集積回路装置において、前記第 3 の半導体領域と第 2 の半導体領域との境界と、前記ゲート電極との間の距離が 40 nm 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 5】 請求項 4 1 記載の半導体集積回路装置において、前記第 1 の半導体領域と第 2 の半導体領域との境界は、前記ゲート電極の上面よりも深い位置に形成されていることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 6】 半導体基板に、埋め込みゲート電極型の電界効果トランジスタと、前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域の少なくとも一方に電気的に接続した容量素子とを有するメモリセルを複数有する半導体集積回路装置において、前記電界効果トランジスタの埋め込みゲート電極の上には埋め込みゲートキャップ絶縁膜が形成されており、前記埋め込みゲートキャップ絶縁膜の厚さは 40 nm 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 7】 半導体基板に、埋め込みゲート電極型の電界効果トランジスタと、前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域の一方に電気的に接続した容量素子とを有するメモリセルを複数有する半導体集積回路装置において、前記容量素子が接続した方のソース・ドレイン領域は、もう一方のソース・ド

レイン領域よりも深く形成されていることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 8】 半導体基板に、埋め込みゲート型の電界効果トランジスタと、前記電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域の一方に電氣的に接続した容量素子とを有するメモリセルを複数有する半導体集積回路装置において、埋め込みゲート電極型の電界効果トランジスタを持つ周辺回路領域を有し、前記周辺回路領域の電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域は、前記メモリセルの電界効果トランジスタのソース・ドレイン領域よりも深く形成されていることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 4 9】 半導体基板に形成された埋め込みゲート電極を有する電界効果トランジスタを持つ半導体集積回路装置において、前記ゲート電極は金属または金属のシリサイド膜によって構成されており、前記電界効果トランジスタのゲート絶縁膜はデポジション法により形成された絶縁膜有していることを特徴とする半導体集積回路装置。

【請求項 5 0】 半導体基板に形成された第 1 の溝と、前記第 1 の溝内に絶縁膜が埋め込まれることで形成された分離部と、前記半導体基板および分離部に平面的に重なるように配置され、その半導体基板および分離部を掘り込むことで形成された配線形成用の溝と、前記配線形成用の溝内における半導体基板の表面に形成されたゲート絶縁膜と、前記配線形成用溝内に、前記半導体基板との間にゲート絶縁膜を介した状態で形成された配線と、前記配線形成用の溝内において前記配線上に形成されたキャップ絶縁膜とを有し、前記ゲート絶縁膜はデポジション法で形成された絶縁膜を有していることを特徴とする半導体集積回路装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体集積回路装置の製造方法および半導体集積回路装置技術に関し、特に、情報蓄積用の容量素子を有する半導体集積回路装置の製造方法および半導体集積回路装置に適用して有効な技術に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

情報蓄積用の容量素子を有する半導体集積回路装置として、例えばDRAM (Dynamic Random Access Memory) がある。DRAMは、そのメモリセルが、1つのメモリセル選択用トランジスタと、それに直列に接続されたキャパシタ (情報蓄積用素子) とから構成されているので、集積度が高く、ビット当たりの単価を安くすることができる等の理由から大容量メモリを必要とする各種コンピュータのメインメモリや通信機器等に広く使用されている。しかし、情報蓄積用素子としてキャパシタを用いているので、そのまま放置しておくで情報の記憶に用いられる信号電荷が時間の経過とともにリークしてしまい記憶内容が失われてしまう。そこで、DRAMにおいては、メモリセルの情報を記憶し続けるために、記憶内容を定期的に再生する、いわゆるリフレッシュ動作が必要である。このため、DRAMを有する半導体集積回路装置においては、DRAM全体の動作速度の向上を図りつつ、リフレッシュ特性の向上を図るべく、種々の構造上および回路上の研究および技術開発が行われている。そのリフレッシュ特性を向上させる技術としては、例えばリフレッシュ特性がメモリセル選択用トランジスタのソース・ドレイン用の半導体領域における接合電界強度に逆比例することから、その接合電界強度を低減することでリフレッシュ特性を向上させるべく、そのソース・ドレイン用の半導体領域の不純物濃度分布を最適化することが進められている。

【 0 0 0 3 】

例えば特開平 6 - 6 1 4 8 6 号公報には、DRAMのメモリセルにおけるメモリセル選択用MOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタを覆う層間絶縁膜に、そのソース・ドレイン用の半導体領域が露出するようなコンタクトホールを開口した後、そのコンタクトホールを通じてそのソース・ドレイン用の半導体領域の下方に電界緩和用の不純物を導入する技術が開示されている。また、例えば特開平 1 0 - 3 5 9 8 4 2 号公報には、メモリセル選択用MOSトランジスタのしきい値電圧 V_{th} を制御するための不純物 (ホウ素等) を半導体基板においてビット線が接続される側のみに打ち込み、キャパシタ側には打ち込まないようにすることにより、キャパシタ側の半導体基板の不純物 (ホウ素等) 濃度を低下させて、キャパシタ側の半導体基板における接合電界強度を低減する技術が開示されている。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、上記技術においては、以下の課題があることを本発明者は見出した。

【 0 0 0 5 】

すなわち、素子の微細化が進むにつれて、例えば素子寸法に対する半導体基板の不純物濃度が高くなり、また、ゲート電極の側壁に形成された側壁絶縁膜が薄くなるためにゲート電極とソース・ドレイン用の半導体領域（高不純物濃度領域）との距離が近づく等により、上記接合電界強度が大きくなる結果、これまでの技術を用いてもリフレッシュ特性の劣化を防止することができない、という課題がある。これまでのDRAMにおいては、高集積化を進めるにあたり、リフレッシュ時間を長くすることにより、消費電力を抑えることが行われているが、高集積化のために素子の微細化を進めると接合電界強度が大きくなるため、リフレッシュ時間を短くせざるを得ない。その結果、現状のままで高集積化を進めると消費電力の増大は避けられない、という課題がある。

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、電界効果トランジスタのソース・ドレイン用の半導体領域における接合電界強度を低減することのできる技術を提供することにある。

【 0 0 0 7 】

また、本発明の他の目的は、電界効果トランジスタの駆動能力を向上させることのできる技術を提供することにある。

【 0 0 0 8 】

また、本発明の他の目的は、半導体集積回路装置のリフレッシュ特性を向上させることのできる技術を提供することにある。

【 0 0 0 9 】

また、本発明の他の目的は、半導体集積回路装置の消費電力を低減することのできる技術を提供することにある。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の他の目的は、半導体集積回路装置の素子集積度を向上させるこ

とのできる技術を提供することにある。

【 0 0 1 1 】

また、本発明の他の目的は、半導体集積回路装置の信頼性を向上させることのできる技術を提供することにある。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の他の目的は、半導体集積回路装置の歩留まりを向上させることのできる技術を提供することにある。

【 0 0 1 3 】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【 0 0 1 5 】

すなわち、本発明は、半導体基板に第 1 の溝を形成する工程と、前記第 1 の溝内に絶縁膜を埋め込むことにより分離部を形成する工程と、前記分離部およびこれに囲まれた活性領域に平面的に重なるように配線形成用の溝を形成する工程と、前記配線形成用の溝内に溝内絶縁膜を形成する工程と、前記配線形成用の溝内に前記溝内絶縁膜を介して配線を形成する工程とを有し、前記配線形成用溝の形成工程は、その底部角を丸く形成する工程を有し、前記溝内絶縁膜の形成工程は、その溝内絶縁膜の一部または全部をデポジション法で形成する工程を有するものである。

【 0 0 1 6 】

また、本発明は、半導体基板に第 1 の溝を形成する工程と、前記第 1 の溝内に絶縁膜を埋め込むことにより分離部を形成する工程と、前記分離部およびそれに囲まれた活性領域の双方の一部を含む開口部を有するマスクを半導体基板上に形成する工程と、前記開口部から露出する分離部の絶縁膜を除去することにより第 2 の溝を形成した後、前記開口部から露出する半導体基板部分を除去することに

より第3の溝を形成する工程と、前記第2および第3の溝内に配線を形成する工程とを有するものである。

【0017】

また、本発明は、半導体基板に形成された第1の溝と、前記溝内に絶縁膜が埋め込まれることで形成された分離部と、前記分離部およびそれに平面的に囲まれた活性領域に平面的に重なるように形成された配線形成用の溝と、前記配線形成用の溝内に形成された溝内絶縁膜と、前記配線形成用の溝内に溝内絶縁膜を介して形成された配線とを有し、前記溝内絶縁膜はデポジションで形成された絶縁膜を有し、前記配線形成用の溝内の底部角は丸みを帯びているものである。

【0018】

また、本発明は、前記配線形成用の溝の形成工程は、その溝を掘る工程と、その溝の内面を酸化する工程と、その酸化工程によって形成された酸化膜を除去する工程とを有するものである。

【0019】

また、本発明は、前記配線形成用の溝内の底部角の曲率半径が、前記配線をゲート電極とする電界効果トランジスタのサブスレッショルド係数の所定値を越えない値にするものである。

【0020】

また、本発明は、前記配線形成用の溝内の底部角の曲率半径が10nm以上とするものである。

【0021】

また、本発明は、前記配線形成用の溝の側面に順テーパを形成するものである。

【0022】

また、本発明は、前記配線形成用の溝を、その底部の幅よりも開口部の幅の方が広くなるように形成するものである。

【0023】

また、本発明は、前記配線形成用の溝を形成する工程は、前記分離部およびそれに囲まれた活性領域の双方の一部を含む開口部を有するマスクを半導体基板上

に形成する工程と、前記開口部から露出する分離部の絶縁膜を除去することにより第2の溝を形成する工程と、前記開口部から露出する半導体基板部分を除去することにより第3の溝を形成する工程とを有するものである。

【 0 0 2 4 】

また、本発明は、前記配線形成用の溝を形成する工程は、前記分離部およびそれに囲まれた活性領域の双方の一部を含む開口部を有するマスクを半導体基板上に形成する工程と、前記開口部から露出する分離部の絶縁膜を除去することにより第2の溝を形成した後、前記開口部および第2の溝から露出する半導体基板部分を除去することにより第3の溝を形成する工程とを有するものである。

【 0 0 2 5 】

また、本発明は、前記配線形成用の溝を形成する工程は、前記第3の溝を第2の溝よりも深く形成する工程と、前記第3の溝内を酸化した後、その酸化膜を除去する工程とを有するものである。

【 0 0 2 6 】

また、本発明は、前記第2の溝を形成する際に、最終的に配線の下部に寄生素子が形成されないように、第2の溝の底部に分離部の絶縁膜が残すものである。

【 0 0 2 7 】

また、本発明は、前記第2の溝の底部に残される分離部の絶縁膜の厚さが100nm以上とするものである。

【 0 0 2 8 】

また、本発明は、前記第1の溝の深さが前記第2および第3の溝よりも最終的に深くなるようにするものである。

【 0 0 2 9 】

また、本発明は、前記溝内絶縁膜の形成工程は、前記配線形成用の溝から露出する半導体基板を酸化することにより絶縁膜を形成する工程と、デポジション法で絶縁膜を形成する工程とを有するものである。

【 0 0 3 0 】

また、本発明は、前記配線が金属からなり、前記溝内絶縁膜のデポジション法で形成された絶縁膜が窒化シリコンからなるものである。

【 0 0 3 1 】

また、本発明は、前記配線の形成工程は、前記第 2 および第 3 の溝内に、第 1 の膜を埋め込む工程と、前記第 1 の膜の一部が前記第 2 および第 3 の溝内に残るように除去する工程と、前記第 2 および第 3 の溝内の第 1 の膜の上面の窪みを第 2 の膜で埋め込む工程とを有するものである。

【 0 0 3 2 】

また、本発明は、前記第 1 の膜の上面の窪みに第 2 の膜を埋め込んだ後、前記第 1 の膜の一部が前記第 2 および第 3 の溝内に残るようにさらに除去する工程を有するものである。

【 0 0 3 3 】

また、本発明は、前記配線が金属または金属とシリコンとの化合物からなるものである。

【 0 0 3 4 】

また、本発明は、前記配線が金属からなり、前記溝内絶縁膜のデポジション法で形成された絶縁膜が窒化シリコンからなるものである。

【 0 0 3 5 】

また、本発明は、前記配線形成工程後、前記配線形成用の溝内において配線上にキャップ絶縁膜を形成する工程を有するものである。

【 0 0 3 6 】

また、本発明は、前記キャップ絶縁膜を形成した後、前記半導体基板上に絶縁膜を堆積する工程と、前記絶縁膜に前記活性領域が露出する孔を穿孔する工程と、前記孔内に導電性膜を埋め込む工程と、前記導電性膜から半導体基板に不純物を拡散させて活性領域に半導体領域を形成する工程を有するものである。

【 0 0 3 7 】

また、本発明は、前記孔の形成工程に際しては、前記絶縁膜の方がキャップ絶縁膜よりもエッチング速度が速い条件でエッチング処理を施す工程を有するものである。

【 0 0 3 8 】

また、本発明は、前記分離部の絶縁膜を酸化シリコンで構成し、前記キャップ

絶縁膜を窒化シリコンで構成するものである。

【 0 0 3 9 】

また、本発明は、前記キャップ絶縁膜の厚さが 4 0 n m 以上とするものである。

【 0 0 4 0 】

また、本発明は、前記分離部の絶縁膜を酸化シリコンで構成し、前記キャップ絶縁膜を窒化シリコンで構成し、前記半導体基板上の絶縁膜を酸化シリコンで構成するものである。

【 0 0 4 1 】

また、本発明は、前記配線形成工程後、前記半導体基板において平面的に配線の両側にその配線をゲート電極とする電界効果トランジスタのソース・ドレイン用の半導体領域を形成する工程を有するものである。

【 0 0 4 2 】

また、本発明は、前記ゲート電極上面の高さを、前記配線形成用の溝および第 1 の溝の形成されていない半導体基板の主面との高さよりも低く形成するものである。

【 0 0 4 3 】

また、本発明は、前記ゲート電極と、前記ソース・ドレイン用の半導体領域のうち相対的に不純物濃度の高い高濃度領域とを離して形成するものである。

【 0 0 4 4 】

また、本発明は、前記ゲート電極と、前記高濃度領域との離間距離は、 4 0 n m 以上とするものである。

【 0 0 4 5 】

また、本発明は、前記ゲート電極と、前記ソース・ドレイン用の半導体領域のうち相対的に不純物濃度の高い高濃度領域とを離して形成し、前記ソース・ドレイン用の半導体領域のうち相対的に不純物濃度の低い低濃度領域を前記ゲート電極の上面よりも深く形成するものである。

【 0 0 4 6 】

また、本発明は、前記電界効果トランジスタがメモリセル選択用トランジスタ

を形成するものであり、前記ソース・ドレイン用の半導体領域の一方に、情報蓄積用の容量素子を電氣的に接続する工程を有するものである。

【 0 0 4 7 】

また、本発明は、半導体基板に掘られた溝と、前記半導体基板において前記溝よりも深い位置までに形成された第 1 の半導体領域と、前記溝内に形成されたゲート絶縁膜と、前記溝内にゲート絶縁膜を介して形成されたゲート電極と、前記ゲート電極の平面的に両側の半導体基板に形成されたソース・ドレイン用の半導体領域とを有し、前記ソース・ドレイン用の半導体領域は、前記第 1 の半導体領域よりは浅い位置までに形成され、前記第 1 の半導体領域と逆の導電型の第 2 の半導体領域と、前記第 2 の半導体領域よりは浅い位置までに形成され、前記第 2 の半導体領域と同一導電型の第 3 の半導体領域とを有し、前記第 3 の半導体領域の不純物濃度は、前記第 2 の半導体領域の不純物濃度よりも高いものである。

【 0 0 4 8 】

また、本発明は、前記第 2 の半導体領域と第 3 の半導体領域との境界は、前記ゲート電極の上面よりも浅い位置に形成されているものである。

【 0 0 4 9 】

また、本発明は、前記境界と前記ゲート電極との間の距離が 4 0 n m 以上とするものである。

【 0 0 5 0 】

また、本発明は、前記第 1 の半導体領域と前記第 2 の半導体領域との境界は、前記ゲート電極の上面よりも深い位置に形成されているものである。

【 0 0 5 1 】

また、本発明は、前記溝内において、前記ゲート電極上にはキャップ絶縁膜が形成されているものである。

【 0 0 5 2 】

また、本発明は、前記ゲート電極上のキャップ絶縁膜の厚さが 4 0 n m 以上とするものである。

【 0 0 5 3 】

また、本発明は、前記ゲート電極上のキャップ絶縁膜が窒化シリコンからなる

ものである。

【 0 0 5 4 】

また、本発明は、前記ゲート電極は金属または金属のシリサイド膜からなり、前記ゲート絶縁膜はデポジション法によって形成された絶縁膜を有するものである。

【 0 0 5 5 】

また、本発明は、前記デポジション法で形成されたゲート絶縁膜が窒化シリコンからなるものである。

【 0 0 5 6 】

また、本発明は、前記ゲート電極を有する電界効果トランジスタと、前記ソース・ドレイン用の半導体領域の一方に電氣的に接続された情報蓄積用の容量素子とで構成されたメモリセルを複数有するものである。

【 0 0 5 7 】

また、本発明は、前記情報蓄積用の容量素子が接続されたソース・ドレイン用の半導体領域は、他方のソース・ドレイン用の半導体領域よりも深く形成されているものである。

【 0 0 5 8 】

また、本発明は、前記メモリセルによって構成されるメモリ領域の周辺回路領域の電界効果トランジスタを埋め込みゲート電極構造とし、前記周辺回路領域の埋め込みゲート電極構造の電界効果トランジスタのソース・ドレイン用の半導体領域は、前記メモリセルの電界効果トランジスタのソース・ドレイン用の半導体領域よりも深く形成されているものである。

【 0 0 5 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、本実施の形態においては、pチャネル型のMIS・FET（電界効果トランジスタ：Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor）をpMISと略し、nチャネル型のMIS・FETをn

M I S と略す。また、本実施の形態において、通常のゲート電極構造の M I S ・ F E T とは、半導体基板上に堆積された導体膜をパターニングすることで形成したゲート電極を有する構造の M I S ・ F E T を言う。また、本明細書中において、高濃度領域とは、ドナまたはアクセプタとなる不純物の濃度が低濃度領域に比べて相対的に高い領域である。また、溝内の角部または溝内の底部角という場合は、溝の内側面と底面とで形成される角部の他、溝の内部において、最も曲率半径が小さい部分をも含むものとする。

【 0 0 6 0 】

(実施の形態 1)

本実施の形態 1 においては、本発明を、例えば D R A M に適用した場合について説明する。図 1 はその製造工程中におけるメモリセル領域および周辺回路領域の要部断面図を示している。このうちメモリセル領域の要部断面図は、図 2 における A - A ' 線の断面図とする。また、図 2 は図 1 のメモリセル領域の要部平面図を示している。

【 0 0 6 1 】

この段階において半導体基板 1 は、例えば平面略円形状の p 型のシリコン単結晶等からなる半導体の薄板（いわゆる半導体ウエハ）であり、その分離領域には、例えば溝型の分離部（トレンチアイソレーション）2 が形成されている。この分離部 2 は、素子分離または素子内分離等の機能を有する部分であり、この分離部 2 に囲まれる領域に活性領域 L が形成されている。メモリセル領域においては、活性領域 L の平面形状が、図 2 に示すように、両端に丸みを有し、かつ、斜め方向に延在する帯状のパターンで形成されている。

【 0 0 6 2 】

このような分離部 2 の形成方法は、例えば次の通りである。まず、半導体基板 1 に、例えば深さ 3 5 0 n m 程度の分離溝（第 1 の溝）2 a をフォトリソグラフィ技術およびドライエッチング技術等によって形成する。分離溝 2 a は、その幅が、その底部から上部に向かって次第に広くなるように形成されている。したがって、分離溝 2 a の内側面は傾斜しており順テーパ状に形成されている。半導体基板 1 の主面を基準としてその主面に対する分離溝 2 a の内側面の傾斜角度 θ 1

は90度よりも小さい。

【0063】

分離溝2aを形成するドライエッチング技術に関して、分離溝2aの集積度を上げるために異方性の大きなエッチングを使用すると、溝内の底部角の曲率半径が小さくなり、その角部に応力が集中して半導体基板1内に転位が入り素子分離特性が悪くなる。

【0064】

また、エッチングガスにフッ素を添加すると溝内の底部角の曲率半径が大きくなるようなエッチング特性となるが、同時にエッチングに伴う溝幅の膨れによってハードマスクの下にアンダーカットが形成される。

【0065】

そこで、分離溝形成の際にステップエッチング技術を使用することで、アンダーカットを小さく抑えつつ、その底部角の曲率半径の大きな溝を形成する。ここで、ステップエッチング技術とは、半導体基板1に溝を形成する際に、相対的に異方性の強いエッチング条件でエッチング処理を施した後（第1のステップ）、エッチングの途中でガスの組成を変えて溝内の底部角が丸みをおびるようなエッチング条件でエッチング処理を行う（第2のステップ）ことにより、溝の開口形状を所定形状に制御する技術である。この技術の場合は、第1のステップにおけるエッチング条件により幅寸法的大幅な増大を招くことなく深い溝を形成し、その後の第2のステップにおけるエッチング条件により溝内の底部角に丸みを形成することができる。

【0066】

本実施の形態においては、エッチング初期は相対的に異方性の大きなエッチング法を使用し、エッチング後期にフッ素を添加したガスに切り換える。こうすることによって、前記のようにアンダーカットを抑えつつ、しかも上記溝内の角部の曲率半径の大きい所望の深さの溝を得ることが可能となる。

【0067】

続いて、分離溝2aを形成した後の半導体基板1の主面上に、例えばテトラエトキシシラン（TEOS（Tetraethoxysilane））とオゾン（ O_3 ）との混合ガス

またはモノシランと酸素との混合ガスを用いたCVD法等によって、例えば酸化シリコン (SiO_2 等、以下同じ) からなる絶縁膜2bを堆積した後、その絶縁膜2bを分離溝2a内のみに残るように化学的機械的研磨 (CMP: Chemical Mechanical Polish) 法によって研磨することにより分離部2を形成する。

【0068】

続いて、半導体基板1の表面を酸化することにより、半導体基板1の表面に、例えば厚さ10nm程度の酸化シリコン等からなる絶縁膜4を熱酸化法等によって形成した後、半導体基板1にpウェル(第1の半導体領域)3Pおよびnウェル3Nを形成する。pウェル3Pおよびnウェル3Nは、それぞれ別々のフォトリソグレイ (以下、単にレジストという) 膜をマスクとして、それぞれ別々の不純物を導入した後、熱処理を施すことにより形成する。メモリセル選択用MIS・FETが形成されるpウェル3Pは、例えばホウ素(B)を300keV、130keVおよび40keVで、それぞれ $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ 、 $2 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ および $1 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ だけ打ち込んだ後、例えば1000℃、30分の熱処理を施すことで形成した。なお、nウェル3Nには、例えばリン(P)またはヒ素(As)が導入されている。

【0069】

その後、メモリセル領域において、メモリセル選択用MIS・FETのソース・ドレイン領域の低濃度領域を形成するための不純物をイオン打ち込み法によって半導体基板に形成しても良い。この場合、半導体基板1の主面を基準にしたイオン打ち込みが可能となるので、半導体基板1の深さ方向の不純物濃度プロファイルの均一性を向上させることが可能となる。なお、本実施の形態1においては、この工程は、後の工程で行う。

【0070】

次いで、図3に示すように、半導体基板1の主面上に、例えば厚さ50nm程度の窒化シリコン (Si_3N_4 等、以下同じ) からなる絶縁膜5をCVD (Chemical Vapor Deposition) 法等によって形成する。続いて、その絶縁膜5上に、レジスト膜6aを形成する。レジスト膜6aの平面形状は、ワード線(配線)形成領域が露出され、それ以外が覆われるようなパターン形状に形成されている。な

お、絶縁膜 5 とレジスト膜 6 a との間に反射防止膜を塗布しておいても良い。その後、図 4 に示すように、そのレジスト膜 6 a をマスクとして、絶縁膜 5、4 および絶縁膜 2 b を順にエッチング除去する（反射防止膜がある場合には反射防止膜も除去する）。これにより、半導体基板 1 において分離部 2 に溝（第 2 の溝、配線形成用の溝）7 a を形成する。この溝 7 a の深さは、分離部 2 の分離溝 2 a よりも浅い。溝 7 a の深さは、後述の工程で分離膜 2 b が若干削られるので、その削られた後も溝 7 a の底部に絶縁膜 2 b が残るように設定する。

【0071】

次いで、レジスト膜 6 a を除去した後（反射防止膜を形成した場合には反射防止膜も除去する）、絶縁膜 5 をエッチングマスクとして、そこから露出する半導体基板 1 をエッチング除去することにより、溝（第 3 の溝、配線形成用の溝）7 b を形成する。この段階において溝 7 b は、溝 7 a よりも深い、分離溝 2 a よりも浅い。この溝 7 b の内側面も傾斜しており順テーパ状に形成されている。半導体基板 1 の主面を基準としてその主面に対する溝 7 b の内側面の傾斜角度 $\theta 2$ は 90 度よりも小さい。この溝 7 a、7 b によりワード線形成用の溝を形成する。なお、レジスト膜 6 a および反射防止膜を除去せずに溝 7 b を形成しても良い。また、ワード線形成用の溝は図 5 の紙面に交差する方向に延在している。

【0072】

ここで、ワード線形成用の溝を形成する際に、溝 7 a（分離部 2 の絶縁膜 2 b の一部除去）を形成した後、溝 7 b（半導体基板 1 の一部除去）を形成したのは、例えば次の理由からである。

【0073】

1 つの理由は、ワード線形成用の溝の底部に半導体基板（シリコン）のエッチング残りを発生させることなく、その溝を形成できるからである。すなわち、溝 7 b を形成した後、溝 7 a を形成すると溝の底部にエッチング残りが生じる場合がある。これは、図 6 に示すように、仮に、溝 7 b から掘ると、分離部 2 の幅が図 6 の下方に向かって次第に狭くなっており、分離部 2 の側面にテーパが形成されているので、その溝 7 b の底部において分離部 2 と接するところが影になり半導体基板（シリコン）のエッチング残りが生じる。この状態で、図 7 に示すよう

に、分離部 2 の絶縁膜 2 b を削り溝 7 a を形成すると、溝 7 a, 7 b で構成されるワード線形成用の溝の底部に半導体基板の微細な突起が形成されてしまう。この突起はゲート絶縁膜の耐圧不良等の原因となる。他の理由は、絶縁膜 2 b (酸化シリコン膜) のエッチング除去後に、溝 7 a 内に選択的に素子分離向上を目的としたホウ素等をイオン打ち込みすることができるからである。

【 0 0 7 4 】

また、溝 7 b の形成に際して窒化シリコンからなる絶縁膜 5 をマスクとして用いたのは、例えば次の理由からである。1 つの理由は、シリコンからなる半導体基板 1 をエッチングする際に、窒化シリコン膜はエッチングされ難いからである。他の理由は、後の工程において、多結晶シリコン膜を研磨するが、その際のスoppaとして機能するからである。さらに、他の理由は、仮に溝 7 a を掘る際に同時に溝 7 b も掘るとしても、分離部 2 b の酸化シリコンと、半導体基板 1 のシリコンとを同等のレートでエッチングすることは難しい。一方、2 回に分けてエッチングするにはレジスト膜 6 a の厚さが不足するからである。レジスト膜厚は現像後の乾燥工程で、現像液の表面張力によって倒れないことが必要であるが、通常、レジスト膜の高さがレジスト膜の幅の 3 倍程度を超えるとレジスト倒れが生じる。レジスト膜 6 a の幅を、例えば $0.13 \mu\text{m}$ 程度とすると、レジスト膜 6 a の高さは、約 $0.4 \mu\text{m}$ が限界となる。溝 7 a, 7 b の形成の場合、エッチング深さが、反射防止膜厚 (約 100 nm) + 窒化シリコン膜厚 (約 100 nm) + 酸化シリコン膜厚 (約 200 nm) + シリコンの溝深さ (約 200 nm) であるので、レジスト膜 6 a がエッチング途中で消失し、溝パターンを形成することができない。

【 0 0 7 5 】

また、溝 7 b の深さを、溝 7 a よりも深くしたのは、例えば次の理由からである。1 つの理由は、ワード線の抵抗を低減することを考慮したものである。ワード線の両側の蓄積電極間の漏れ電流は、分離溝 2 a の深さと、分離部 2 の絶縁膜 2 b 内に設けられるゲート電極 (ワード線) の深さとの相対関係によって決まる。分離溝 2 a の深さと、絶縁膜 2 b 内のゲート電極の深さの差が大きい程、ワード線の両側の蓄積電極間の漏れ電流は小さくなる。この漏れ電流の許容上限値は

、概ね 1 fA 以下である。すなわち、許容される漏れ電流の上限値が分離部 2 の絶縁膜 2 b 内のゲート電極の深さの上限値を決める。ところで、DRAM の場合は、ワード線の抵抗は、読み出しおよび書き込み速度を左右する重要な要因であるから低い方が好ましい。高速化のためには、ワード線の抵抗の低減は有効な手段である。ワード線の抵抗は、ワード線材料与ワード線の平均断面積で決まる。しかし、上記のように分離部 2 の絶縁膜 2 b 内のゲート電極の深さの上限値はワード線の両側の蓄積電極のリーク電流で決まるので、ワード線の抵抗を低減するには半導体基板 1 側の溝 7 a の深さを深くして平均断面積を大きくすることが有効である。したがって、この段階で溝 7 b の深さを溝 7 a より深くすることにより、上記蓄積電極間のリーク電流の問題を回避しつつ、ワード線の抵抗の低減を図ることができる。

【 0 0 7 6 】

また、他の理由は、ワード線形成用の溝内にワード線材料（ゲート電極材料）を埋め込む際に、溝 7 a、7 b の底部の境目に凹凸が少ない方が良いからである。溝 7 a、7 b にワード線材料を埋め込む際に、溝 7 a、7 b の表面の凹凸を最小にするには、本来は、溝 7 a、7 b の深さが等しいときである。ところが、後述するように溝 7 b を形成した後には、半導体基板 1 における溝形成時のダメージを除去するために犠牲酸化膜を熱酸化法等で形成し、さらにその犠牲酸化膜をフッ酸等によって除去する必要がある。この犠牲酸化膜の除去の際、分離部 2 の絶縁膜 2 b は、熱酸化法で形成された犠牲酸化膜よりもエッチングレートが大きいので、絶縁膜 2 b のエッチング量、すなわち、溝 7 a 側の深さ増加量の方が、半導体基板 1 側のエッチング量、すなわち、溝 7 b の深さの増加量よりも大きくなってしまふ。そこで、ワード線材料の埋め込みの際には溝 7 a、7 b の深さが等しくなるような方向とするために、その深さ増加量の差を補償すべく、この溝 7 b の形成段階においては、溝 7 b の深さの方が、溝 7 a よりも深くなるようにしている。

【 0 0 7 7 】

上記のような溝 7 a、7 b の形成工程の後、半導体基板 1 に対して熱酸化処理を施すことにより、上記ダメージ除去を目的とした犠牲酸化膜を溝 7 a、7 b 内

に形成する。このような犠牲酸化膜の形成後、メモリセル選択用MIS・FETのしきい値電圧を調整するための不純物をイオン打ち込み法等によって半導体基板1に導入する。犠牲酸化膜形成後に、しきい値電圧調整用の不純物を導入することにより、その不純物の拡散を抑制または防止することができるので、動作信頼性を向上させることができる。その不純物の打ち込みは、半導体基板1の主面に対して斜め方向および垂直な方向の両方から打ち込むことで、溝7bの内壁全面に不純物を入れるようにすることができる。

【0078】

また、しきい値電圧調整用の不純物の導入を、気相ドーピングによって行うことも可能である。この場合には、イオン打ち込み法によって不純物の導入を行った場合に比べて、溝7bの内面により均一に不純物を導入することが可能となる。

【0079】

前記しきい値電圧調整用の不純物を注入した後、犠牲酸化膜を、例えばフッ酸等によって除去する。この際、溝7aから露出する分離部2の絶縁膜2bのエッチングレートの方が、犠牲酸化膜よりも大きいのが、それを見越して上述のように溝7a、7bの深さに差を持たせてあるので、図8に示すように、溝7aの方が溝7bよりも深くなることはない。ここでは、この工程後も溝7bの方が、溝7aよりも深い場合が示されているが、ほぼ等しくなるようにしても良い。この段階では、それら溝7a、7bの境界底部に、溝7a、7b形成時に比べて大きく急峻な段差や凹凸がないことが好ましい。

【0080】

また、本実施の形態1においては、ゲート溝形成を前記ステップエッチング法によって形成することにより、ハードマスク下のアンダーカットを抑えつつ、しかも上記溝内の底部角の曲率半径の大きい所望の深さの溝を得ることができる。これにより、埋め込みゲート電極構造のMIS・FETの特性、特にサブスレッショルド特性を向上させることができる（サブスレッショルド係数を小さくすることができる）。すなわち、溝7b内の底部角近傍における電界の発散を緩和することができるので、チャネル抵抗を低減でき、所定のしきい値電圧で所望のドレイン電流を得ることができる。このため、素子駆動能力を向上させることが可

能となる。また、デプレッション型にする必要がなくなるので、リーク電流の増大を防ぐことができ、消費電力の増大も防ぐことが可能となる。本実施の形態 1 においては、溝 7 b 内の底部角の曲率半径を、例えば 1 0 n m 以上、例えば 3 0 n m 程度とした。溝 7 b 内の底部角における曲率半径については後ほど詳細に説明する。

【 0 0 8 1 】

続いて、半導体基板 1 に対して、ゲート酸化処理を施すことにより、図 9 に示すように、溝 7 b から露出する半導体基板 1 の表面に、例えば厚さ 4 n m 程度の酸化シリコン等からなるゲート絶縁膜 8 a を形成する。その後、その上（溝 7 a , 7 b 内）に、例えば厚さ 1 0 n m 程度の窒化シリコン等からなるゲート絶縁膜 8 b を低圧 C V D 法等によって堆積する。これにより、溝 7 a , 7 b 内にゲート絶縁膜 8 (8 a , 8 b) を形成する。本実施の形態 1 においては、C V D 法等によりゲート絶縁膜 8 b を形成することにより溝 7 a , 7 b 内におけるゲート絶縁膜 8 a の被覆性の劣化を補うことができるので、ゲート絶縁耐圧を向上させることが可能となる。図 1 0 は、ゲート絶縁膜を熱酸化法のみで形成した場合を模式的に示している。この場合は、溝 7 b 内の底部角の領域 E において熱酸化膜の形成に伴う応力の発生に起因してゲート絶縁膜 8 a の被覆性が劣化し、この箇所で電界集中が発生し易い。すなわち、この箇所でゲート絶縁破壊が生じ、ゲート電極 G と半導体基板 1 との間にリーク電流が流れてしまう。この現象は、溝 7 a , 7 b の境界部分でも凹凸部ができやすいため、ゲート絶縁膜を熱酸化法のみで形成した場合に発生し易い。なお、符号の S D はソース・ドレイン領域を示している。一方、図 1 1 (a) , (b) は、ゲート絶縁膜を C V D 法で形成した場合を模式的に示している。図 1 1 の (b) は (a) の領域 E の拡大図である。この場合は、ゲート絶縁膜は下地に対してよりコンフォーマル (c o n f o r m a l) に成長するため、溝内の底部角での被覆性を向上させることができ、その底部角での絶縁耐圧劣化の問題を抑制または防止することができる。また、ゲート絶縁膜を熱酸化法と C V D 法との積層膜で形成する場合は、熱酸化法で形成したゲート絶縁膜 8 a で被覆しきれなかった箇所等を C V D 法で形成したゲート絶縁膜 8 b によって補うことができるので、上記のような問題を抑制または防止すること

が可能となる。

【 0 0 8 2 】

また、ゲート絶縁膜 8 b の材料としては、窒化シリコンを選択したことにより、次の効果が得られる。第 1 に、本実施の形態 1 においては、後述するように、ゲート電極の材料としてチタンシリサイド等を用いているが、この場合、ゲート絶縁膜材料として窒化シリコンを用いるとゲート絶縁膜の信頼性を向上させることができる。これは、仮に窒化シリコンからなるゲート絶縁膜 8 b が無い状態で酸化シリコンからなるゲート絶縁膜 8 a 上にチタンシリサイドを形成する工程を行うと、チタンがゲート絶縁膜 8 a 中の酸素を奪ってしまう結果、ゲート絶縁膜 8 a が劣化（ゲート電極と半導体基板間にリーク電流が流れる等）するからである。ゲート電極材料として多結晶シリコンや、タングステンなどを用いる場合には、ゲート絶縁膜 8 b の材料として、例えば酸化シリコン膜や酸化タンタル（ Ta_2O_5 ）を用いることもできる。第 2 は、ゲート容量を増大させることができるので、サブスレッショルド係数を小さくすることができる。したがって、消費電力の増加を招くことなく、オン／オフ電流比の増大による素子駆動能力の向上を図ることが可能となる。ゲート絶縁膜 8 b の材料として酸化タンタルを用いた場合もこの効果を得ることができる。

【 0 0 8 3 】

次いで、図 1 2 に示すように、溝 7 a，7 b 内を含む半導体基板 1 上に、例えば細い溝でも埋め込むことが良好なノンドープの非晶質シリコンからなるゲート電極形成膜 9 a を CVD 法等によって堆積した後、これを、窒化シリコン等からなる絶縁膜 5 をエッチングストッパとして図 1 3 に示すように CMP 法等によって研磨する。これにより、溝 7 a，7 b の深さの違いに起因するゲート電極形成膜 9 a の表面の凹凸を消滅させることができる。この段階では溝 7 a，7 b 内のゲート電極形成膜 9 a の上面は、残された絶縁膜 5 の上面とほぼ等しい高さになっている。続いて、溝 7 a，7 b 内では上記犠牲酸化膜のフッ酸によるエッチング処理等に起因して溝幅が大きくなっているために、そこに埋め込まれたゲート電極形成膜 9 a 中にはボイドが形成されている場合があるので、そのボイドが開口されるまでゲート電極形成膜 9 a の上部を、図 1 4 に示すように、絶縁膜 5 を

エッチングマスクとして等方性エッチング処理等によってエッチング除去する。ボイドが開口するまでのゲート電極形成膜 9 a の除去を、エッチングのみによって行うことも可能であるが、この方法によるとボイド底部のゲート電極形成膜 9 a に対するエッチングが進行し、そこからゲート絶縁膜 8 b が露出され不良を招く恐れがある。したがって、本実施の形態にあるように、ボイドが開口するまでゲート電極形成膜 9 a を除去する工程を、途中まで CMP によって行い、ボイド底部のゲート電極形成膜 9 a へのエッチング量を減らすことで、前記の問題の発生を防ぐことができる。

【 0 0 8 4 】

その後、図 1 5 に示すように、例えば窒化シリコンからなる絶縁膜 1 0 を C V D 法等によって堆積した後、絶縁膜 1 0 を等方性ドライエッチング法によってエッチバックすることにより、図 1 6 に示すように、溝 7 a , 7 b 内に埋め込まれたゲート電極形成膜 9 a 上面のボイドの中に絶縁膜 1 0 を埋め込む。この際、溝 7 a , 7 b の上部側壁に絶縁膜 1 0 が残らないようにする。

【 0 0 8 5 】

次いで、図 1 7 に示すように、再度、ゲート電極形成膜 9 a を等方性のドライエッチング処理によってエッチバックする。この際、半導体基板 1 上の絶縁膜 5 と、ゲート電極形成膜 9 a のボイドに埋め込まれた絶縁膜 1 0 をエッチングマスクとする。このようにボイド中に絶縁膜 1 0 を形成したのは、仮に、絶縁膜 1 0 が無いとすると、ゲート電極形成膜 9 a のエッチバック処理時に、ボイド部分は他の部分よりもエッチングが進行するので、そこからゲート絶縁膜 8 b が露出され不良を招く恐れがあるからである。したがって、そのような問題が生じない場合は、絶縁膜 1 0 の形成工程を無くしても良い。続いて、半導体基板 1 に対して酸化処理を施すことにより、非晶質シリコンを酸化した後、これによって酸化された部分をフッ酸等によって除去する。これにより、溝 7 a , 7 b 内に非晶質シリコンの残渣があったとしてもそれを除去することが可能となる。その後、図 1 8 に示すように、半導体基板 1 上に、例えばチタン (T i) 等からなる導体膜 1 1 を C V D 法またはスパッタリング法等によって堆積した後、アニールを施すことにより、導体膜 1 1 とゲート電極形成膜 9 a とがシリサイド反応を起

こす。その後、未反応の導体膜 11 を過酸化水素等を用いて除去することにより、図 19 おおおよび図 20 に示すように、溝 7a, 7b 内に、例えばチタンシリサイド等からなるワード線 WL (ゲート電極 9) を形成する。本実施の形態 1 においては、良好な埋め込みが可能な非晶質シリコンを用いて微細な溝 7a, 7b を埋め込んだ後、その非晶質シリコンをシリサイデーション化によってシリサイド化することにより、低抵抗なチタンシリサイド等からなるゲート電極 9 を、埋め込み性良く溝 7a, 7b 内に形成することができる。ただし、埋め込みゲート電極材料は、チタンシリサイドに限定されるものではなく種々変更可能である。例えばチタンシリサイドの表面をさらに窒化し、窒化チタンを積層する構造としても良い。この場合は、後の工程でゲート電極が露出するようなコンタクトホールを絶縁膜に穿孔した後の洗浄処理に際してゲート電極の耐性を向上させることが可能となる。また、タングステン等のような金属を用いることでワード線 WL の抵抗を大幅に低減することもできる。さらに、例えば低抵抗多結晶シリコン、窒化タングステンおよびタングステンを下層から順に積み重ねた構造とすることもできる。この場合は、最下層の多結晶シリコンを p 型とすることにより、n 型シリコンとの仕事関数差分だけしきい値電圧を稼ぐことができるので、半導体基板 1 の不純物濃度を低くした状態で、所望のしきい値電圧を確保することが可能となる。この効果は、ゲート電極材料としてタングステンをを用いた場合も得られる。さらに、低抵抗多結晶シリコンのみを用いてゲート電極を構成しても良い。

【0086】

また、本実施の形態 1 においては、ワード線 WL (ゲート電極 9) の上面が、半導体基板 1 の主面から 40 nm 以上深い位置に形成されていることが好ましい。特に限定されないが、本実施の形態 1 においては、ワード線 WL の上面を、半導体基板 1 の主面から、例えば 70 nm 程度深い位置に形成する。その理由については後ほど説明する。また、図 20 はメモリセル領域の要部平面図を示している。ワード線 WL は、活性領域 L に対して交差するように配置されている。1 つの活性領域 L に対して 2 本のワード線 WL が平面的に重なるように配置されている。ワード線 WL において活性領域 L に平面的に重なる部分がゲート電極 9 となっている。なお、活性領域 L は、ワード線 WL の延在方向に対して斜めに配置さ

れている。

【0087】

次いで、半導体基板1上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜12をCVD法等によって堆積した後、絶縁膜5をエッチングストッパとして、絶縁膜12をCMP法等によって研磨する。続いて、残された絶縁膜5を熱リン酸を用いて除去することにより、図21に示すように、ワード線WL（ゲート電極9）上に、例えば酸化シリコンからなるキャップ絶縁膜12aを形成する。この段階において、図22に示すように、溝7a内において、ワード線WL（ゲート電極9）の下部には、分離部2の絶縁膜2bが残されている。これは、溝7aの底部側に確保される絶縁膜2bの厚さが薄すぎるとワード線WLを一部とした寄生素子が形成されてしまうので、それを抑制または防止するためである。本発明者の検討結果によれば、その絶縁膜2bの厚さdは、例えば100nm程度またはそれ以上あることが好ましい。なお、分離部2の溝2bの深さは、素子分離能力を確保するため、溝7a、7bよりも深く形成されている。

【0088】

次いで、埋め込みゲート電極でない通常のゲート電極構造のMIS・FETのしきい値電圧を調整するための不純物をレジスト膜をマスクとして半導体基板1に選択的に導入する。この際、nMIS形成領域には、例えばホウ素を導入し、pMIS形成領域には、例えばリンを導入する。続いて、しきい値電圧調整用不純物導入工程時に用いたレジスト膜を除去した後、半導体基板1の主面上において埋め込みゲート電極9（ワード線WL）の形成領域をレジスト膜で覆う。その後、半導体基板1の主面の酸化膜をフッ酸またはバッファードフッ酸等を用いて除去した後、さらに、レジスト膜を除去後、ゲート酸化処理を半導体基板1に対して施す。これにより、図23に示すように、半導体基板1の主面上の通常のゲート電極構造のMIS・FET形成領域（nMISおよびpMISの両方の形成領域）にゲート絶縁膜13を形成する。

【0089】

次いで、半導体基板1の主面上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜14をCVD法等によって堆積した後、これをワード線WL（埋め込みゲート電極9）

の形成領域が露出され、それ以外が覆われるようにフォトリソグラフィ技術およびドライエッチング技術によってパターニングする。続いて、絶縁膜 1 4 をマスクとして、半導体基板 1 に、埋め込みゲート電極構造の M I S F E T のソース・ドレイン用の不純物を導入する。ここでは、例えばリンを 20 keV で $2 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ 程度導入する。これにより、ソース・ドレイン用の半導体領域のうち、相対的に不純物濃度の低い低濃度領域（第 2 の半導体領域）1 5 a を形成する。その後、絶縁膜 1 4 をフッ酸等によって除去する。

【 0 0 9 0 】

次いで、半導体基板 1 の主面上に、例えば非晶質シリコンからなるゲート電極形成膜 1 6 a を C V D 法等によって堆積した後、レジスト膜をマスクとして n 型ゲート領域および p 型ゲート領域をイオン打ち込みで形成する。続いて、レジスト膜を除去した後、不純物を活性化するためのアニールを施す。その後、そのゲート電極形成膜 1 6 a をフォトリソグラフィ技術およびドライエッチング技術によってパターニングすることにより、図 2 4 に示すように、通常のゲート電極 1 6 を形成する。その後、レジスト膜をマスクとして、半導体基板 1 に、通常のゲート電極構造の M I S ・ F E T のソース・ドレイン用の半導体領域のうち、相対的に不純物濃度の低い低濃度領域を形成するための不純物をイオン打ち込み法等によって導入することにより、低濃度領域 1 7 a , 1 8 a をゲート電極 1 6 に対して自己整合的に形成する。なお、n M I S と p M I S とでは、当該不純物を別々のレジスト膜をマスクとして打ち分ける。n M I S 形成領域には、例えばリンまたはヒ素を導入し、p M I S 形成領域には、例えばホウ素を導入する。

【 0 0 9 1 】

次いで、半導体基板 1 の主面上にゲート電極 1 6 の表面を覆うように、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜を C V D 法等によって堆積した後、これを異方性のドライエッチング法によってエッチバックすることにより、ゲート電極 1 6 の側面にサイドウォール 1 9 を形成する。続いて、ゲート電極 1 6 およびサイドウォール 1 9 をマスクとして、半導体基板 1 に、通常のゲート電極構造の M I S ・ F E T のソース・ドレイン用の半導体領域のうち、相対的に不純物濃度の高い高濃度領域を形成するための不純物をイオン打ち込み法等によって導入することによ

り、高濃度領域 1 7 b, 1 8 b をゲート電極 1 6 に対して自己整合的に形成する。なお、ここでも、nMIS と pMIS とでは、当該不純物を別々のレジスト膜をマスクとして打ち分ける。nMIS 形成領域には、例えばリンまたはヒ素を導入し、pMIS 形成領域には、例えばホウ素を導入する。このようにして周辺回路領域に、nMISQn および pMISQp のソース・ドレイン用の半導体領域 1 7, 1 8 を形成する。

【0092】

次いで、半導体基板 1 の主面上に、例えば厚さ 1 0 0 nm 程度の酸化シリコンからなる絶縁膜 2 0 を堆積した後、これを CMP 法で研磨することにより、その上面を平坦化する。続いて、図 2 5 および図 2 6 に示すように、絶縁膜 2 0 に、埋め込みゲート電極構造の MIS・FET（メモリセル選択用 MIS・FET）のソース・ドレイン用の半導体領域（低濃度領域 1 5 a）が露出するようなコンタクトホール 2 1 を形成する。図 2 6 は図 2 5 の工程におけるメモリセル領域の要部平面図を示している。コンタクトホール 2 1 は、例えば平面円形状に形成されており、互いに隣接するワード線 WL（ゲート電極 9）の間において、活性領域 L に平面的に重なる位置に配置されている。すなわち、コンタクトホール 2 1 は、活性領域 L の両端および中央に平面的に重なるように配置されている。その後、半導体基板 1 上に、例えばリンをドーピングした多結晶シリコンを堆積した後、不純物を活性化するためのアニール処理を施す。この際、プラグ 2 2 から半導体基板 1 に不純物（リン）が拡散することにより、埋め込みゲート構造の MIS・FET のソース・ドレイン用の半導体領域に高濃度領域が形成される。その後、その多結晶シリコン膜がコンタクトホール 2 1 内のみに残されるように CMP 法等によって研磨することにより、コンタクトホール 2 1 内にプラグ 2 2 を形成する。図 2 7 はこの工程後の半導体基板 1 の埋め込みゲート電極構造の MIS・FET（メモリセル選択用 MIS・FETQs）部分の拡大図を示している。メモリセル選択用 MIS・FETQs のソース・ドレイン領域は、低濃度領域 1 5 a とその上部に形成された高濃度領域 1 5 b とを有している。低濃度領域 1 5 a と p ウエル 3 P との境界は、埋め込み型のゲート電極 9（ワード線 WL）の上面よりも深い位置に形成されている。また、高濃度領域 1 5 b と低濃度領域 1 5 a と

の境界は、埋め込み型のゲート電極 9（ワード線 WL）の上面よりも浅い位置に形成されている。この高濃度領域 1 5 b は、プラグ 2 2 からの不純物の拡散によって形成されている。一方のプラグ 2 2（すなわち、高濃度領域 1 5 b）には、情報蓄積用の容量素子が電氣的に接続され、他方のプラグ 2 2（すなわち、高濃度領域 1 5 b）にはビット線が電氣的に接続される。

【 0 0 9 3 】

次いで、図 2 8 に示すように、半導体基板 1 上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜 2 3 を CVD 法等によって堆積し、その上面を CMP 法等で平坦にした後、絶縁膜 2 3 にプラグ 2 2 の上面が露出するスルーホール 2 4 a および絶縁膜 2 3、2 0 に周辺回路領域の nMISQn および pMISQp のソース・ドレイン用の半導体領域 1 7、1 8 が露出するコンタクトホール 2 4 b を形成する。続いて、半導体基板 1 上に、例えばチタン、窒化チタンを下層から順にスパッタリング法または CVD 法等によって堆積した後、その上にタンゲステン等を CVD 法等によって堆積する。チタンや窒化チタンは、後に続くキャパシタ形成工程での熱処理においてタンゲステンとシリコンとが反応するのを防ぐためのバリア膜としての機能を有している。その後、そのチタン、窒化チタンおよびタンゲステン等の積層膜を CMP 法等によって研磨することにより、スルーホール 2 4 a 内およびコンタクトホール 2 4 b 内にプラグ 2 5 を形成する。この際、絶縁膜 2 3 がストッパとして機能する。その後、絶縁膜 2 3 上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜 2 7 a を形成した後、これに配線形成用の溝を形成する。続いて、その上に、例えばタンゲステン等のような導体膜をスパッタリング法等によって堆積した後、これを CMP 法等によって研磨することにより、埋め込み型のビット線 BL および第 1 層配線 2 6 を形成する。なお、この段階のメモリセル領域の要部平面図を図 2 9 に示す。ビット線 BL は、平面的にワード線 WL に対して直交する方向に延在されている。そして、活性領域 L の中央のコンタクトホール 2 1 に平面的に重なるように配置されている。

【 0 0 9 4 】

次いで、図 2 8 に示すように、半導体基板 1 上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜 2 7 b を CVD 法等によって堆積した後、さらに、その上に、例えば窒

化シリコンからなる絶縁膜 2 8 を堆積する。続いて、その絶縁膜 2 8 にキャパシタの下部電極とプラグ 2 2 とをつなぐためのスルーホール 2 9 を形成した後、絶縁膜 2 8 上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜 3 0 を C V D 法等によって堆積する。その後、その絶縁膜 3 0 にキャパシタ孔 3 1 を穿孔する。この際、酸化シリコンの方が窒化シリコンよりもエッチングレートが速くなる条件でエッチングすることにより、絶縁膜 2 8 をマスクとして、キャパシタ孔 3 1 の底部のスルーホール 2 9 から露出する絶縁膜 2 3, 2 7 をエッチング除去することにより、プラグ 2 2 の上面が露出するスルーホール 3 2 を形成する。

【 0 0 9 5 】

次いで、図 2 8 に示すように、下部電極 3 3 a、容量絶縁膜 3 3 b および上部電極 3 3 c を形成して情報蓄積用の容量素子 C を形成する。下部電極 3 3 a は、例えば P (リン) がドーピングされた低抵抗多結晶シリコン膜からなり、スルーホール 3 2 を通じてプラグ 2 2 と電氣的に接続されている。容量絶縁膜 3 3 b は、例えば、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との積層膜または酸化タンタル (Ta_2O_5) 等からなり、上部電極 3 3 c は、例えば窒化チタンからなる。続いて、絶縁膜 3 0 上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜 3 4 を C V D 法等によって堆積した後、上記プラグ 2 5 と同様 (同じ方法および材料) にして、上部電極 3 3 c と周辺回路領域の第 1 層配線 2 6 に接続されるプラグ 3 5 を形成し、さらに、絶縁膜 3 4 上に、第 2 層配線 3 6 を第 1 層配線 2 6 と同様に形成する。ただし、ここでは、第 2 層配線 3 6 の材料として、例えばアルミニウムやアルミニウム合金を用いることができる。第 2 層配線 3 6 は、プラグ 3 5 を通じて上部電極 3 3 c および第 1 層配線 2 6 と電氣的に接続されている。その後、絶縁膜 3 4 上に、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜 3 7 を C V D 法等によって堆積した後、上記プラグ 2 5 と同様 (同じ方法および材料) にして、第 2 層配線 3 6 に接続されるプラグ 3 8 を形成し、さらに、絶縁膜 3 7 上に、第 2 層配線 3 6 と同様に、第 3 層配線 3 9 を形成する。第 3 層配線 3 9 の材料は、第 2 層配線 3 6 と同じである。第 2 層配線 3 9 は、プラグ 3 8 を通じて第 2 層配線 3 6 と電氣的に接続されている。

【 0 0 9 6 】

次に、本実施の形態 1 の半導体集積回路装置の作用および効果について説明する。図 3 1 は、本実施の形態 1 の半導体集積回路装置におけるメモリセル選択用 MIS・FETQs の断面を模式的に示した説明図である。まず、本実施の形態 1 においては、ゲート電極 9 (ワード線 WL) を半導体基板 1 中に埋め込む構造としたことにより、実効的なチャネル長を長くすることができるので、半導体基板 1 の不純物濃度を低減することができる。このため、ソース・ドレインにおける接合電界強度を小さくすることができる。また、ビット線 BL および下部電極 3 3 a が接続されるプラグ 2 2 とワード線 WL (ゲート電極 9) との容量を低減できるので、信号の伝達速度を向上させることが可能となる。

【0097】

また、メモリセル選択 MIS・FETQs においてオフ時 (例えばゲート電圧が 0 V の時) のソース・ドレイン領域における p n 接合の電界強度を低減することができる。ソース・ドレイン領域における p n 接合の電界強度は、不純物で決定する要因と p n 接合端の曲率半径で決定する要因とがある。埋め込みゲート電極構造の場合は、図 3 2 に示すように、ソース・ドレイン領域における p n 接合端がゲート電極 9 に重なる、すなわち、半導体領域 1 5 b と p ウエル 3 P との境界がゲート電極 9 の上面よりも深く形成されているので殆ど曲率半径が大きいまたは無限大である。その分、ソース・ドレイン領域の p n 接合の電界強度を低減できる。しかし、本発明者らの実験によれば、情報蓄積用の容量素子 C が接続されるソース・ドレイン領域の p n 接合部での空乏層 4 0 の端部と、ゲート電極 9 上端部との距離 L a が短すぎると、ソース・ドレインとなる半導体領域 1 5 b と、オフ時のゲート電極 9 との電位差により電界強度が大きくなってしまふ。例えば図 3 3 (a), (b) は、ゲート電極 9 の電位による空乏層空間電荷への影響を説明する図である。同図 (a) は通常の状態である。ここで、半導体領域 1 5 b (n 領域) の電位がゲート電極 9 の電位よりも高い状態 (半導体領域 1 5 b が逆バイアスされ、ゲート電極 9 が非選択の時 (オフ時)) で、ゲート電極 9 の端部が n 型中性領域 (ほぼ半導体領域 1 5 b に等しい) に近づくと、半導体領域 1 5 b とゲート電極 9 との電位差によって、図 3 3 (b) に示すように、空乏層内の空間電荷分布に歪みが生じ、部分的に狭くなる。この狭くなったバンドギャッ

プ部分を通じてリーク電流が発生する。特に、そのバンドギャップの歪み部分に不純物準位が存在すると、トラップアシストトンネリング現象によってリーク電流が生じ易くなる。そこで、本実施の形態1においては、ゲート電極9の上面を、上述のバンドギャップの歪みの影響を無視できる程度まで下げる構造としている。本発明者らの実験結果によれば、他の要素によって変わる場合もあり一概には言えないが、ゲート電極9の上面が半導体基板1の主面よりも40nm以上深くすることにより、または、上記距離Laを40nm以上とすることにより、上記電位差に起因した電界を低減することができ、全体的にpn接合の電界強度を低減することができた。なお、この構造からゲート電極9上のキャップ絶縁膜12aの厚さは、例えば40nm以上となる。また、通常のゲート電極構造の場合は、ゲート電極の側面に設けたサイドウォールによって上記距離Laを確保することができたが、ゲート電極端部と低濃度領域と高濃度領域とは半導体基板1の主面に沿って並ぶ構造である上、微細化に伴いサイドウォールの膜厚も薄くなりつつある。本実施の形態1の場合は、ソース・ドレイン用の高濃度領域15a、低濃度領域15aおよびゲート電極端部が半導体基板1の厚さ方向に沿って並ぶ構造なので、距離Laをある程度確保したとしても、あるいはサイドウォールに相当するキャップ絶縁膜12aの厚さを厚くしても、メモリセル選択用MIS・FETQsの占有面積の寸法縮小が可能であり、高集積化が要求されるDRAMにとっては都合の良い構造である。

【0098】

このように、本実施の形態1においては、メモリセル選択用MIS・FETQsのソース・ドレイン領域における接合電界強度を低減することができるので、その分、リフレッシュ時間を長くすることができる。したがって、リフレッシュの際の充放電サイクルを長くできるので、その分、DRAMの消費電力を低減することが可能となる。例えば同じセルサイズの場合において、リフレッシュ時間は、非対称方式のDRAMのメモリセル（通常のゲート電極構造のメモリセル選択用MIS・FET）構造で100msであるのに対して、300msまで長くできた。その結果、待機時の消費電力を、上記非対称方式の場合で1.2mAであったものを、0.5mA程度までに低減できた。

【0099】

次に、溝7b内の底部角に丸みを形成したことによりサブスレッショルド特性が向上する（サブスレッショルド係数が小さくなる）効果について説明する。サブスレッショルド係数 S は、ドレイン電流を1桁変化させるのに要するゲート電圧の幅であり、 $S = \ln 10 \cdot kT / q (1 + (C_d + C_{it}) / C_{ox})$ で表すことができ、小さい値が良い。なお、 C_d は空乏層容量、 C_{it} は界面準位（等価容量）、 C_{ox} はゲート容量を示している。

【0100】

溝7b内の底部角に丸みがないと、すなわち、その底部角の曲率半径が小さくなると、チャネル抵抗が増大し、サブスレッショルド係数が大きくなる。図34はMIS・FETの電流特性とサブスレッショルド係数との関係を示している。曲線S1はサブスレッショルド係数 S が小さい場合、曲線S2a、2bはサブスレッショルド係数 S が大きい場合を示している。サブスレッショルド係数 S が大きい曲線S2aでは、一定のしきい値電圧 V_{th} において所望のドレイン電流 I_d （例えば10nA）を得ようと、チャネルインプラ等を減らすと、曲線S2aを図34の左の方向に移動した曲線S2bとなり、所望のドレイン電流を得ることができる。しかし、この場合は、デプレッション型となり、ゲート電圧が0V（オフ時）でのリーク電流が増大してしまう。すなわち、消費電力は増大してしまう。そこで、本実施の形態1においては、溝7bの底部に丸みを形成した。図35は、本発明者らの実験によって得られた溝7b内の底部角の曲率半径とサブスレッショルド係数との関係を示している。本発明者らの実験結果によれば、サブスレッショルド係数が100より小さい値となるように曲率半径を設定すると有効であると判定された。サブスレッショルド係数 S は、上記式で示したように、空乏層容量、界面準位およびゲート容量によっても変わるので一概には言えないが、その曲率半径が10nm未満の場合には、サブスレッショルド係数が大きくなりオン／オフ電流比を大きくとれないが、曲率半径が10nm以上にとするとサブスレッショルド係数を90mV／decade以下にすることができ、オン／オフ電流比を大きくとることができた。したがって、メモリセル選択用MIS・FETQsの駆動能力の向上が図れ、動作速度（書き込みや読み出し動作速度

）の向上を図ることができる。しかも、サブスレッショルド係数を小さくできるので、オフ時のリーク電流を増大させることもなく、消費電力の増大も抑えることが可能となる。なお、ゲート容量が大きいほどサブスレッショルド係数は小さくなる。したがって、ゲート絶縁膜の膜厚を薄くする、または誘電率の高い材料（例えば窒化シリコンや酸化タンタル）をゲート絶縁膜の一部または全体の材料として使用すると良い。また、空乏層容量が小さい程、サブスレッショルド係数は小さくなる。このためには、半導体基板 1 の不純物濃度を低くするか、または、基板バイアスを深く（負側に）する、あるいはそれらを組み合わせる構造とすると良い。基板バイアスを深くする（マイナス方向にする）場合には、半導体基板 1 においてメモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s が形成された p ウエル 3 P （メモリ領域の p ウエル 3 P）を、その下部および側面に設けられた埋め込み n ウエルによって取り囲み、周辺回路領域に形成された p ウエル 3 P とは電氣的に分離した構造とした状態で、そのメモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s が形成された p ウエル 3 P の電位を制御、すなわち、マイナス方向に大ききし負電位にすれば良い。この場合、メモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s のソース・ドレインと p ウエル 3 P 間の接合容量を低減できる。また、サブスレッショルド係数は界面単位密度が少ない程小さくなる。

【 0 1 0 1 】

（実施の形態 2）

本実施の形態 2 においては、前記実施の形態 1 の D R A M の製造方法の変形例について説明する。

【 0 1 0 2 】

まず、図 3 6 に示すように、前記実施の形態 1 と同様に、半導体基板 1 上に絶縁膜 4, 5 を形成した後、これをマスクとして、半導体基板 1 に、例えば深さ 2 3 0 ~ 2 5 0 n m 程度の溝 7 を形成する。この溝 7 の形成は、上記 2 ステップエッチング処理によって行う。すなわち、溝加工時のドライエッチング条件を変えることにより、平面寸法の小さな深い溝 7 内の角部を除去し、溝 7 の内側面と底面とのなす角部の曲率半径が、例えば 4 0 n m 程度となるような丸みを形成する。本実施の形態 2 においては、半導体基板 1 と分離部 2 との境界部においても溝

7を同時にほぼ同じ深さになるように形成する。

【0103】

続いて、前記実施の形態1と同様に犠牲酸化処理および犠牲酸化膜除去処理を施した後、図37に示すように、例えば厚さ4nm程度の酸化シリコン膜からなるゲート絶縁膜8aを熱酸化法によって形成した後、その上に、例えば厚さ8nm程度の窒化シリコンからなるゲート絶縁膜8bをCVD法によって堆積する。その後、半導体基板1上に、例えば厚さ70nm程度のタンゲステン等からなるゲート電極形成膜9aを堆積した後、これをドライエッチング法によってエッチバックする。その後、絶縁膜5をエッチング除去する。これにより、図38に示すように、溝7内のみにゲート電極9を形成する。この際、ゲート電極9の上面は半導体基板1の上面よりも低くなっている。ここでは、前記実施の形態1と同様に、半導体基板1の主面から溝7のゲート電極9の上面までの深さを、例えば70nm程度とした。その後、半導体基板1にメモリセル選択用MIS・FETのソース・ドレイン用の半導体領域のうち、相対的に不純物濃度が低い低濃度領域15aを形成する。

【0104】

次いで、半導体基板1上に、例えば厚さ20nm程度の窒化シリコンからなる絶縁膜をCVD法等によって堆積した後、これをドライエッチング法によってエッチバックすることにより、図39に示すように、溝7の内側面上部（ゲート電極9の上面と溝7の開口部との間の側面）にサイドウォール41を形成する。このサイドウォール41は、ゲート絶縁膜8aの削れを抑制または防止するためのものである。続いて、図40に示すように、半導体基板1の主面上に、例えば150nm程度の窒化シリコンからなる絶縁膜42をCVD法等によって堆積した後、これを例えば80nm程度CMP法等によって研磨することにより、絶縁膜42の上面を平坦化する。続いて、この絶縁膜42において、前記実施の形態1で説明した周辺回路領域に堆積されている部分をフォトリソグラフィ技術およびドライエッチング技術によって除去する。したがって、絶縁膜42は、メモリセル領域を覆うように半導体基板1の主面上に形成されている。また、絶縁膜42の一部は、溝7内の上部に埋め込まれており、キャップ絶縁膜と同等の機能を有

している。

【 0 1 0 5 】

次いで、前記実施の形態 1 と同様にして周辺回路領域に n M I S Q n および p M I S Q p を形成した後、図 4 1 に示すように、絶縁膜 4 2 に、メモリセル選択用 M I S ・ F E T のソース・ドレイン用の低濃度領域 1 5 a の一部が露出するようなコンタクトホール 2 1 をドライエッチング法等によって形成する。この際、本実施の形態 2 においては、窒化シリコンのエッチングレートの方が、酸化シリコンよりも速くなるような条件でエッチングする。これにより、例えばコンタクトホール 2 1 の底面から分離部 2 (酸化シリコン等からなる絶縁膜 2 b) が露出された状態で、オーバーエッチング処理を施したとしてもその分離部 2 の上部をエッチングによって削ってしまうのを抑制または防止することが可能となる。続いて、例えばリンをそのコンタクトホール 2 1 を通じてイオン打ち込みすることにより、半導体基板 1 の上部 (低濃度領域 1 5 a の上部) に高濃度領域 1 5 a を形成する。その後、半導体基板 1 上に、例えばタングステン等のような導体膜を堆積した後、これをパターニングすることにより、ビット線 B L を形成する。これ以降は前記実施の形態 1 と同じなので説明を省略する。

【 0 1 0 6 】

本実施の形態 2 においては、前記実施の形態 1 で得られた効果の他に、以下の効果を得ることが可能となる。

【 0 1 0 7 】

すなわち、絶縁膜 4 2 にコンタクトホール 2 1 をドライエッチング法等によって形成する際、窒化シリコンのエッチングレートの方が、酸化シリコンよりも速くなるような条件でエッチングすることにより、例えばコンタクトホール 2 1 の底面から分離部 2 が露出された状態で、オーバーエッチング処理を施したとしてもその分離部 2 の上部をエッチングによって削ってしまうのを抑制または防止することが可能となる。したがって、メモリセル選択用 M I S ・ F E T の信頼性および歩留まりを向上させることが可能となる。

【 0 1 0 8 】

(実施の形態 3)

本実施の形態 3 においては、前記実施の形態 1、2 の D R A M の製造方法の変形例について説明する。

【0109】

まず、前記実施の形態 2 で説明した図 3 9 の工程を経た後、図 4 0 で説明した絶縁膜 4 2 をドライエッチング法によってエッチバックすることにより、図 4 2 に示すように、溝 7 内の上部、ゲート電極 9 上に、例えば窒化シリコン等からなるキャップ絶縁膜 4 2 a を形成する。この際の絶縁膜 4 2 のエッチング量を、例えば 9 0 n m 程度とすると、溝 7 内には、例えば厚さ 5 0 n m 程度のキャップ絶縁膜 4 2 a が埋め込まれることになる。

【0110】

続いて、図 4 3 に示すように、例えば厚さ 1 0 0 n m 程度の酸化シリコンからなる絶縁膜 2 0 を C V D 法等によって半導体基板 1 上に形成した後、レジスト膜 6 b をエッチングマスクとして、図 4 4 に示すように、絶縁膜 2 0 にビット線用のコンタクトホール 2 1 を穿孔する。コンタクトホール 2 1 の底部からは半導体基板 1 の低濃度領域 1 5 a が露出されている。

【0111】

この際、本実施の形態 3 においては、窒化シリコンのエッチングレートの方が、酸化シリコンよりも速くなるような条件でエッチングする。本実施の形態 3 においては、キャップ絶縁膜 4 2 a が窒化シリコンからなるので、コンタクトホール 2 1 の形成に際してオーバーエッチング処理を施したとしても、キャップ絶縁膜 4 2 a のエッチング速度が遅いため、コンタクトホール 2 1 がゲート電極 9 まで達してしまうのを防止することができる。すなわち、コンタクトホール 2 1 をゲート電極 9 に対して自己整合的に形成することができる。また、前記実施の形態 2 と同様に、コンタクトホール 2 1 から分離部 2 の一部が露出されてもエッチングによって大幅に削ってしまうこともない。

【0112】

また、ここで、完成時のメモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s のしきい値電圧が低い場合には、コンタクトホール 2 1 を通じて、そのしきい値電圧を調整するための不純物（例えばホウ素）を、例えば 2 0 ～ 5 0 k e V 程度のエネルギーで

$1 \times 10^{12} \sim 1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 程度打ち込んでも良い。これにより、図 4 5 に示すように、ビット線が接続される低濃度領域 1 5 a の下に p^- 型の半導体領域 4 3 を形成する。その後、コンタクトホール 2 1 を通じて、例えばリンをイオン打ち込みすることにより、高濃度領域 1 5 b を形成する。

【 0 1 1 3 】

次いで、図 4 6 に示すように、半導体基板 1 上に、例えば厚さ 3 0 0 n m 程度の酸化シリコンからなる絶縁膜 4 4 を堆積した後、絶縁膜 4 4, 2 0 にキャパシタ用のコンタクトホール 4 5 を穿孔する。この際においても、本実施の形態 3 においては、窒化シリコンのエッチングレートの方が、酸化シリコンよりも速くなるような条件でエッチングすることにより、コンタクトホール 4 5 の形成時にオーバーエッチング処理を施したとしても、キャップ絶縁膜 4 2 a のエッチング速度が遅いため、コンタクトホール 4 5 がゲート電極 9 まで達してしまうのを防止することができる。すなわち、コンタクトホール 4 5 をゲート電極 9 に対して自己整合的に形成することができる。また、前記実施の形態 2 と同様に、コンタクトホール 4 5 から分離部 2 の一部が露出されてもエッチングによって大幅に削ってしまうこともない。

【 0 1 1 4 】

また、ここで、コンタクトホール 4 5 を通じて、例えばリンを $20 \text{ keV} \sim 50 \text{ keV}$ 程度のエネルギーで $1 \times 10^{13} \sim 3 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 程度イオン打ち込み、低濃度領域 1 5 a よりも不純物濃度が低い n 型の半導体領域 4 6 を形成する。この n 型の半導体領域 4 6 は、上記埋め込みゲート構造のメモリセル選択用 MIS・FET のソース・ドレイン用の半導体領域における接合電界強度を緩和する機能を有している。

【 0 1 1 5 】

続いて、コンタクトホール 4 5 内にプラグ 4 7 を前記プラグ 2 2 と同様に形成した後、プラグ 4 7 の不純物を半導体基板 1 側に拡散させることにより、半導体基板 1 の上部（低濃度領域 1 5 a の上部）に高濃度領域 1 5 b を形成する。その後、情報蓄積用の容量素子の下部電極 3 3 a を形成し、その表面を覆うように容量絶縁膜 3 3 b を形成し、さらに上部電極 3 3 c を形成する。なお、本実施の形

態 3 においても、前記実施の形態 1 と同様に、図 4 7 に示すように、ビット線用のコンタクトホール 2 1 と、容量素子用のコンタクトホール 2 1 とを同時に穿孔し、その内部に埋め込まれたプラグ 2 2 からの不純物拡散によって高濃度領域 1 5 b を形成するようにしても良い。なお、符号の V_a は、メモリセル選択用 MIS・FET Q_s のしきい値電圧調整用の不純物を導入した領域である。

【 0 1 1 6 】

本実施の形態 3 においては、前記実施の形態 1, 2 で得られた効果の他に、以下の効果を得ることが可能となる。

【 0 1 1 7 】

(1). 情報蓄積用の容量素子 C が電氣的に接続されたソース・ドレイン用の低濃度領域 1 5 a の下に、さらに低不純物濃度の半導体領域 4 6 を形成したことにより、ソース・ドレインの接合電界強度を低減することが可能となる。これにより、漏れ電流を低減することが可能となる。

【 0 1 1 8 】

(2). ビット線 B L が接続されたソース・ドレイン用の低濃度領域 1 5 a 側のみにホウ素をイオン打ち込みすることにより、チャンネルに打ち込まれるホウ素の濃度低減によるしきい値電圧の低下を補償することが可能となる。

【 0 1 1 9 】

(3). キャップ絶縁膜 4 2 a を窒化シリコン膜で形成し、その上の絶縁膜 2 0, 4 4 を酸化シリコン膜で形成し、かつ、コンタクトホール 2 1, 4 5 の形成時に窒化シリコンのエッチングレートの方が酸化シリコンよりも速くなるような条件でエッチングすることにより、コンタクトホール 2 1, 4 5 の形成に際しオーバーエッチング処理を施したとしても、キャップ絶縁膜 4 2 a のエッチング速度が遅いため、コンタクトホール 2 1, 4 5 がゲート電極 9 まで達してしまうのを防止することが可能となる。

【 0 1 2 0 】

(4). 上記(3)により、コンタクトホール 2 1, 4 5 をゲート電極 9 に対して自己整合的に形成することができる。したがって、素子集積度の向上を図ることが可能となる。

【 0 1 2 1 】

(5).埋め込みゲート電極 9 上のキャップ絶縁膜 4 2 a を窒化シリコン膜で形成し、これをコンタクトホール 2 1, 4 5 を形成する際のエッチングストッパとすることにより、コンタクトホール 2 1, 4 5 を開口する際にソース・ドレインの側壁部を覆う絶縁膜（キャップ絶縁膜 4 2 a、ゲート絶縁膜 8 a, 8 b を含む）のオーバーエッチング量を減らすことが可能となる。

【 0 1 2 2 】

(6).上記(5)により、プラグ 4 7 とゲート電極 9 の端部との距離が小さくなることを回避することが可能となる。

【 0 1 2 3 】

(7).上記(5)により、高濃度領域をコンタクトホール形成工程後にコンタクトホール底部に露出したソース・ドレイン領域上に形成する場合（ポリシリプラグからの固相拡散だけでなく、イオン注入を含む）には、高濃度領域とゲート電極 9 の端部との距離が小さくなることによって生じる問題を回避することが可能となる。

【 0 1 2 4 】

（実施の形態 4）

本実施の形態 4 においては、DRAM の周辺回路を構成する MIS・FET も埋め込みゲート電極構造とした場合について説明する。

【 0 1 2 5 】

図 4 8 は、DRAM のメモリセル領域と周辺回路領域との要部断面図を示している。メモリセル領域のメモリセル選択用 MIS・FET Q s の構造は前記実施の形態 1 ～ 3 と同じなので説明を省略する。

【 0 1 2 6 】

周辺回路を構成する nMISQ n および pMISQ p は、埋め込み型のゲート電極 9 と、ゲート絶縁膜 8 と、ソース・ドレイン用の半導体領域 4 8, 4 9 とを有している。nMISQ n および pMISQ p のゲート電極 9 は、半導体基板 1 に形成された溝（第 3 の溝、配線形成用の溝）7 c 内にゲート絶縁膜 8 を介して埋め込まれている。溝 7 c の深さは、溝 7 a, 7 b とほぼ同じであるが、溝 7 c

の平面寸法は、メモリセル領域の溝 7 a, 7 b の平面寸法よりも大きい。本実施の形態 4 においては、例えば nMISQn および pMISQp のゲート電極 9 の材料や形成工程を、メモリセル領域のゲート電極 9 と同じとすることにより、工程数を減らすことができる。nMISQn および pMISQp のゲート幅およびゲート長は、メモリセル選択用 MIS・FETQs のゲート幅およびゲート長よりも大きくなっている。これは、周辺回路ではメモリセル領域とは別の素子特性（例えば高駆動能力）が要求される場合があるからである。ただし、nMISQn および pMISQp のゲート電極 9 を、メモリセル選択用 MIS・FETQs のゲート電極 9 とは別材料で形成しても良いし、別工程時に形成しても良い。nMISQn および pMISQp のゲート電極 9 を、メモリセル選択用 MIS・FETQs のゲート電極 9 とは別材料とすることにより、メモリセルおよび周辺回路用の MIS・FET として各々必要な特性が得られるようにすることが可能となる。なお、ゲート電極形成工程をメモリセルと周辺回路とで共通とする場合には、nMISQn および pMISQp のゲート電極 9 の埋め込み深さ（上面の高さ）は、メモリセル選択用 MIS・FETQs のゲート電極 9 と同じである。したがって、そのゲート電極 9 上のキャップ絶縁膜 12 a (42 a) の厚さもメモリセル領域とほぼ同じである。

【0127】

nMISQn および pMISQp のゲート絶縁膜 8 も、メモリセル選択用 MIS・FETQs のゲート絶縁膜 8 a, 8 b と同じ材料で同工程時に形成されている。したがって、nMISQn および pMISQp のゲート絶縁膜 8 も、熱酸化膜と CVD 酸化膜との積層膜となっている。ただし、nMISQn および pMISQp のゲート絶縁膜 8 も、メモリセル選択用 MIS・FETQs のゲート絶縁膜 8 a, 8 b とは別材料で別工程時に形成しても良い。この場合、周辺回路用の MIS・FET のゲート絶縁膜 8 の厚さや誘電率等を所望するものとする事により、周辺回路用の MIS・FET に必要な特性が得られるようにすることが可能となる。

【0128】

nMISQn および pMISQp のソース・ドレイン用の半導体領域 48, 4

9は、例えばメモリセル領域のメモリセル選択用MIS・FETQsのソース・ドレイン用の半導体領域（低濃度領域15aおよび高濃度領域15b）とは別工程時に形成されている。nMISQnのソース・ドレイン用の半導体領域48は、低濃度領域48aと高濃度領域48bとを有している。また、pMISQpのソース・ドレイン用の半導体領域49は、低濃度領域49aと高濃度領域49bとを有している。低濃度領域48aおよび高濃度領域48bは、共に、例えばリンが導入されてn型に設定されているが、高濃度領域48bの方が低濃度領域48aよりも不純物濃度が相対的に高くなっている。これら低濃度領域48aと高濃度領域48bまたは低濃度領域49aと高濃度領域49bとは、同一のマスクにて形成することができる。例えばnMISQnの場合、メモリセルおよび周辺回路領域のゲート電極9を形成後、nMISQn領域に開口部を有し、pMISQpおよびメモリセル選択用MIS・FETQsを覆うマスクを形成し、前記マスクの開口部を通してnMISQnのソース・ドレイン用の半導体領域48に低濃度領域48aおよび高濃度領域48b形成のための不純物の導入を行う。この際に低濃度領域48aへの不純物の導入は、高濃度領域48bへの不純物の導入よりも大きな電界強度で、打ち込み不純物量を少なく設定することで、低濃度領域48aと高濃度領域48bとの打ち分けをすることができ、所望の不純物濃度分布を得ることができる。また、pMISQpの場合でも同様に同一のマスクにて、不純物の打ち込みの電界強度と打ち込み量の制御とにより低濃度領域49aと高濃度領域49bとを打ち分けて形成することができる。

【0129】

本実施の形態4においては、低濃度領域48a、49aがメモリセル選択用MIS・FETQsのそれぞれ低濃度領域15aよりも深い位置まで分布して形成され、高濃度領域48b、49bが、メモリセル選択用MIS・FETQsの高濃度領域15bよりも深い位置まで分布して形成されている。これにより、周辺回路を構成するnMISQnおよびpMISQpの駆動能力を向上させることが可能となっている。ただし、低濃度領域48aと高濃度領域48bとの境界および低濃度領域49aと高濃度領域49bとの境界はゲート電極9の上面よりも浅い位置になっている。また、低濃度領域48aとpウエル3Pとの境界および低

濃度領域 4 9 a と n ウエル 3 N との境界はゲート電極 9 の途中深さの位置になっている。なお、高濃度領域 4 8 b、4 9 b とプラグ 2 5 との接触界面には、例えばチタンシリサイド等からなる導体膜 5 0 が形成されており、プラグ 2 5 と高濃度領域 4 8 b、4 9 b との接触抵抗を低減することが可能となっている。

【0 1 3 0】

このような本実施の形態 4 によれば、前記実施の形態 1 ～ 3 で得られた効果の他に、以下の効果を得ることが可能となる。

【0 1 3 1】

(1).メモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s のゲート電極 9 と、周辺回路の n M I S Q n および p M I S Q p のゲート電極 9 とを埋め込み型としたことにより、それらの素子の高さ（ゲート電極 9 の高さ）を揃えることができるので、メモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s と周辺回路（特に直接的な周辺回路、例えばセンサンプ回路）の n M I S Q n および p M I S Q p との配線接続上の容易性を向上させることが可能となる。

【0 1 3 2】

(2).半導体基板 1 の主面の平坦性を向上させることができるので、半導体基板 1 上に形成される配線の信頼性を向上させることが可能となる。

【0 1 3 3】

(3).上記(2)により、配線層の多層化を実現することが可能となる。

【0 1 3 4】

(4).周辺回路の M I S F E T におけるソース・ドレイン用の高濃度領域、低濃度領域およびゲート電極の端部が半導体基板の厚さ方向に沿って縦に並ぶ構造なので、不純物の打ち込み電界強度および打ち込み量の制御により、同一マスクにて低濃度領域と高濃度領域とを形成することが可能となる。

【0 1 3 5】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態 1 ～ 4 に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【0 1 3 6】

例えば前記実施の形態 1 ～ 4 においては、メモリセル選択用 M I S ・ F E T のソース・ドレイン用の半導体領域として高濃度領域と低濃度領域とを設けた場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば低濃度領域のみを設ける構造としても良い。

【 0 1 3 7 】

また、前記実施の形態 1 ～ 4 においては、メモリセル選択用 M I S ・ F E T および周辺回路の M I S F E T のゲート絶縁膜を熱酸化膜と C V D 膜との積層膜とした場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば C V D 法により形成した窒化シリコン等からなる絶縁膜の単体膜でゲート絶縁膜を形成しても良い。

【 0 1 3 8 】

以上の説明では主として本発明者によってなされた発明をその背景となった利用分野である D R A M に適用した場合について説明したが、それに限定されるものではなく、例えば D R A M (Dynamic Random Access Memory) と論理回路とを同一半導体基板に有する半導体集積回路装置にも適用できる。

【 0 1 3 9 】

【発明の効果】

本願によって開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、以下の通りである。

【 0 1 4 0 】

(1). 本発明によれば、ゲート電極を半導体基板中に埋め込む構造としたことにより、実効的なチャンネル長を長くすることができるので、半導体基板の不純物濃度を低減することができる。このため、ソース・ドレインにおける接合電界強度を低減することが可能となる。

【 0 1 4 1 】

(2). 本発明によれば、ゲート電極を半導体基板中に埋め込む構造としたことにより、ビット線および下部電極が接続されるプラグとワード線（ゲート電極）との容量を低減できるので、信号の伝達速度を向上させることが可能となる。

【 0 1 4 2 】

(3).本発明によれば、メモリセル選択用トランジスタにおいてオフ時のソース・ドレイン領域における接合電界強度を低減することが可能となる。

【 0 1 4 3 】

(4).本発明によれば、ゲート電極の上面を、バンドギャップの歪みの影響を無視できる程度（例えば40nm以上）まで基板表面から下げることにより、電位差に起因した電界を低減することができ、全体的に、メモリセル選択用トランジスタのソース・ドレイン領域の接合電界強度を低減することが可能となる。

【 0 1 4 4 】

(5).本発明によれば、メモリセル選択用トランジスタのソース・ドレイン領域における接合電界強度を低減することができるので、その分、リフレッシュ時間を長くすることができる。したがって、リフレッシュ動作の際の充放電サイクルを長くできるので、その分、DRAMを有する半導体集積回路装置の消費電力を低減することが可能となる。

【 0 1 4 5 】

(6).本発明によれば、配線形成用の溝の底部に丸み（例えば曲率半径が10nm以上）を形成したことにより、サブスレッショルド係数を小さくすることができるので、オン／オフ電流比を大きくとることが可能となる。

【 0 1 4 6 】

(7).上記(6)により、メモリセル選択用トランジスタの駆動能力を向上させることが可能となる。

【 0 1 4 7 】

(8).上記(6)により、メモリセル選択用トランジスタの動作速度を向上させることが可能となる。

【 0 1 4 8 】

(9).上記(6)により、サブスレッショルド係数を小さくすることができるので、オフ時のリーク電流を増大させることもなく、消費電力の増大も抑えることが可能となる。

【 0 1 4 9 】

(10).本発明によれば、埋め込みゲート電極構造の電界効果トランジスタにお

けるゲート絶縁膜の少なくとも一部をデポジション法で形成することにより、配線形成用の溝内でのゲート絶縁膜の被覆性を向上させることができるので、ゲート絶縁膜の耐圧を向上させることが可能となる。

【 0 1 5 0 】

(11).上記(10)により、メモリセル選択用電界効果トランジスタの性能を向上させることが可能となる。

【 0 1 5 1 】

(12).上記(10)により、メモリセル選択用電界効果トランジスタの歩留まりおよび信頼性を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施の形態である半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 2】

図 1 のメモリセル領域の要部平面図である。

【図 3】

図 1 および図 2 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4】

図 3 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 5】

図 4 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 6】

半導体基板に配線形成用の溝を形成する際の不具合を模式的に説明した説明図である。

【図 7】

半導体基板に配線形成用の溝を形成する際の不具合を模式的に説明するものであって、図 6 に続く形成工程の説明図である。

【図 8】

図 5 に続く半導体集積回路装置の製造工程における要部断面図である。

【図 9】

図 8 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 0】

ゲート絶縁膜を熱酸化法のみで形成した場合を模式的に示した説明図である。

【図 1 1】

(a) は、ゲート絶縁膜を熱酸化法と C V D 法との積層膜で形成した場合を模式的に示した説明図、(b) は (a) の領域 E の拡大断面図である。

【図 1 2】

図 9 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 3】

図 1 2 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 4】

図 1 3 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 5】

図 1 4 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 6】

図 1 5 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 7】

図 1 6 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 8】

図 1 7 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 9】

図 1 8 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 2 0】

図 1 9 のメモリセル領域の要部平面図である。

【図 2 1】

図 1 9 および図 2 0 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 2 2】

図 2 1 の半導体集積回路装置の製造工程中における断面構造の一部を模式的に示す説明図である。

【図 2 3】

図 2 1 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 2 4】

図 2 3 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 2 5】

図 2 4 に続く半導体集積回路装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 2 6】

図 2 5 におけるメモリセル領域の要部平面図である。

【図 2 7】

図 2 5 のメモリセル領域の要部拡大断面図である。

【図 2 8】

図 2 5 ～図 2 7 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 2 9】

図 2 5 に続く半導体集積回路装置の製造工程中におけるメモリセル領域の要部平面図である。

【図 3 0】

図 2 5 に続く半導体集積回路装置の製造工程中におけるメモリセル領域の要部平面図である。

【図 3 1】

本発明の一実施の形態である半導体集積回路装置の埋め込みゲート電極部の構造を模式的に示す説明図である。

【図 3 2】

本発明の一実施の形態である半導体集積回路装置の埋め込みゲート電極部の構造を模式的に示す説明図である

【図 3 3】

(a) , (b) は通常のゲート電極構造の電界効果トランジスタにおけるゲート電極の電位による空乏層空間電荷への影響を説明する説明図である。

【図 3 4】

電界効果トランジスタの電流特性とサブスレッショルド係数との関係を示すグラフ図である。

【図 3 5】

本発明者らの実験によって得られた溝内の底部角の曲率半径とサブスレッショルド係数との関係を示したグラフ図である。

【図 3 6】

本発明の他の実施の形態である半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 7】

図 3 6 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 8】

図 3 7 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 9】

図 3 8 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 0】

図 3 9 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 1】

図 4 0 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 2】

本発明の他の実施の形態である半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 3】

図 4 2 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 4】

図 4 3 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 5】

図 4 4 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 6】

図 4 5 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 7】

本発明の他の実施の形態である半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 8】

本発明のさらに他の実施の形態である半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【符号の説明】

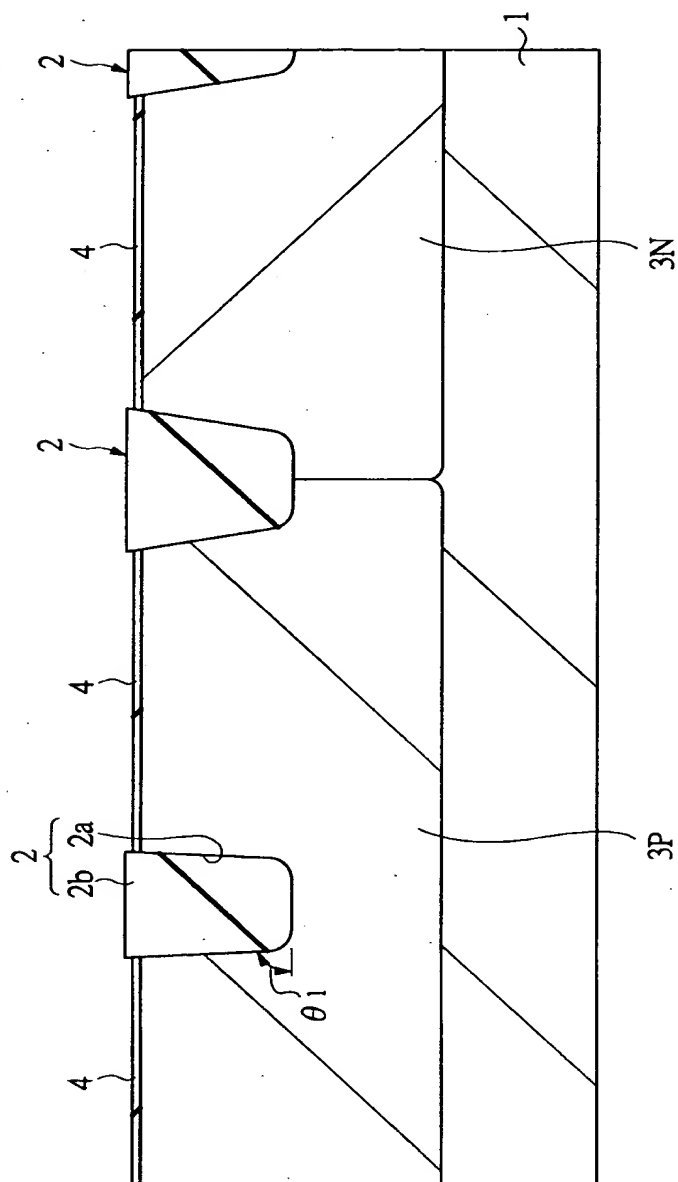
- 1 半導体基板
- 2 分離部
- 2 a 分離溝
- 2 b 絶縁膜
- 3 P p ウエル（第 1 の半導体領域）
- 3 N n ウエル
- 4 絶縁膜
- 5 絶縁膜
- 6 a フォトリジスト膜
- 7 溝（配線形成用の溝）
- 7 a 溝（第 2 の溝、配線形成用の溝）
- 7 b 溝（第 3 の溝、配線形成用の溝）
- 8 ゲート絶縁膜
- 8 a ゲート絶縁膜
- 8 b ゲート絶縁膜
- 9 ゲート電極
- 9 a ゲート電極形成膜（第 1 の膜）
- 1 0 絶縁膜（第 2 の膜）
- 1 1 導体膜
- 1 2 絶縁膜
- 1 2 a キャップ絶縁膜

- 1 3 ゲート絶縁膜
- 1 4 絶縁膜
- 1 5 a 低濃度領域（第 2 の半導体領域）
- 1 6 ゲート電極
- 1 6 a ゲート電極形成膜
- 1 7 a 低濃度領域
- 1 7 b 高濃度領域
- 1 8 a 低濃度領域
- 1 8 b 高濃度領域
- 1 9 サイドウォール
- 2 0 絶縁膜
- 2 1 コンタクトホール
- 2 2 プラグ
- 2 3 絶縁膜
- 2 4 a スルーホール
- 2 4 b コンタクトホール
- 2 5 プラグ
- 2 6 第 1 層配線
- 2 7 a, 2 7 b 絶縁膜
- 2 8 絶縁膜
- 2 9 スルーホール
- 3 0 絶縁膜
- 3 1 キャパシタ孔
- 3 2 スルーホール
- 3 3 a 下部電極
- 3 3 b 容量絶縁膜
- 3 3 c 上部電極
- 3 4 絶縁膜
- 3 5 プラグ

- 3 6 第 2 層配線
- 3 7 絶縁膜
- 3 8 プラグ
- 3 9 第 3 層配線
- 4 0 空乏層
- 4 1 サイドウォール
- 4 2 絶縁膜
- 4 2 a キャップ絶縁膜
- 4 3 p^- 型の半導体領域
- 4 4 絶縁膜
- 4 5 コンタクトホール
- 4 6 半導体領域
- 4 7 プラグ
- 4 8 a 低濃度領域
- 4 8 b 高濃度領域
- 4 9 a 低濃度領域
- 4 9 b 高濃度領域
- 5 0 導体膜
- W L ワード線
- B L ビット線
- C 情報蓄積用の容量素子
- Q p pチャネル型のM I S・F E T
- Q n nチャネル型のM I S・F E T

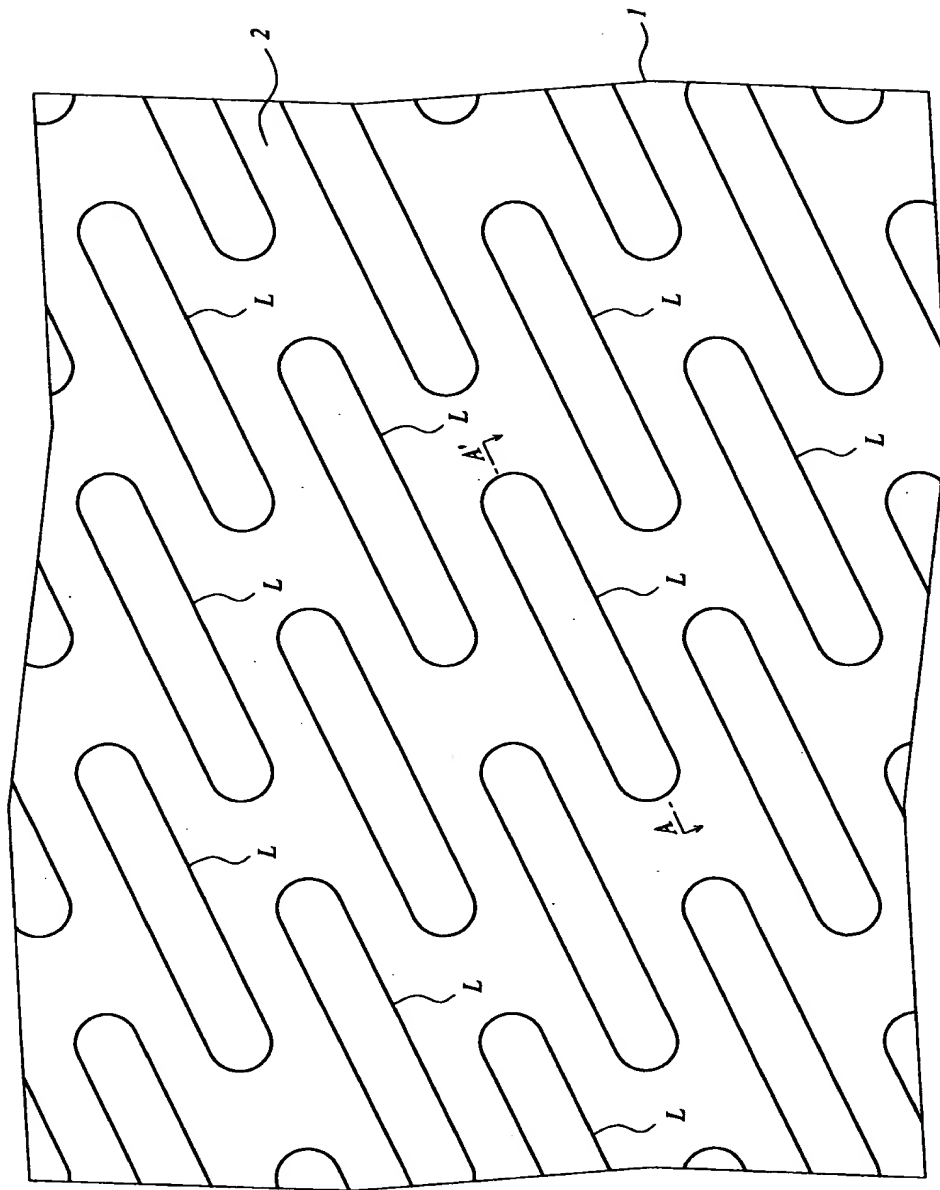
【書類名】 図面

【図 1】



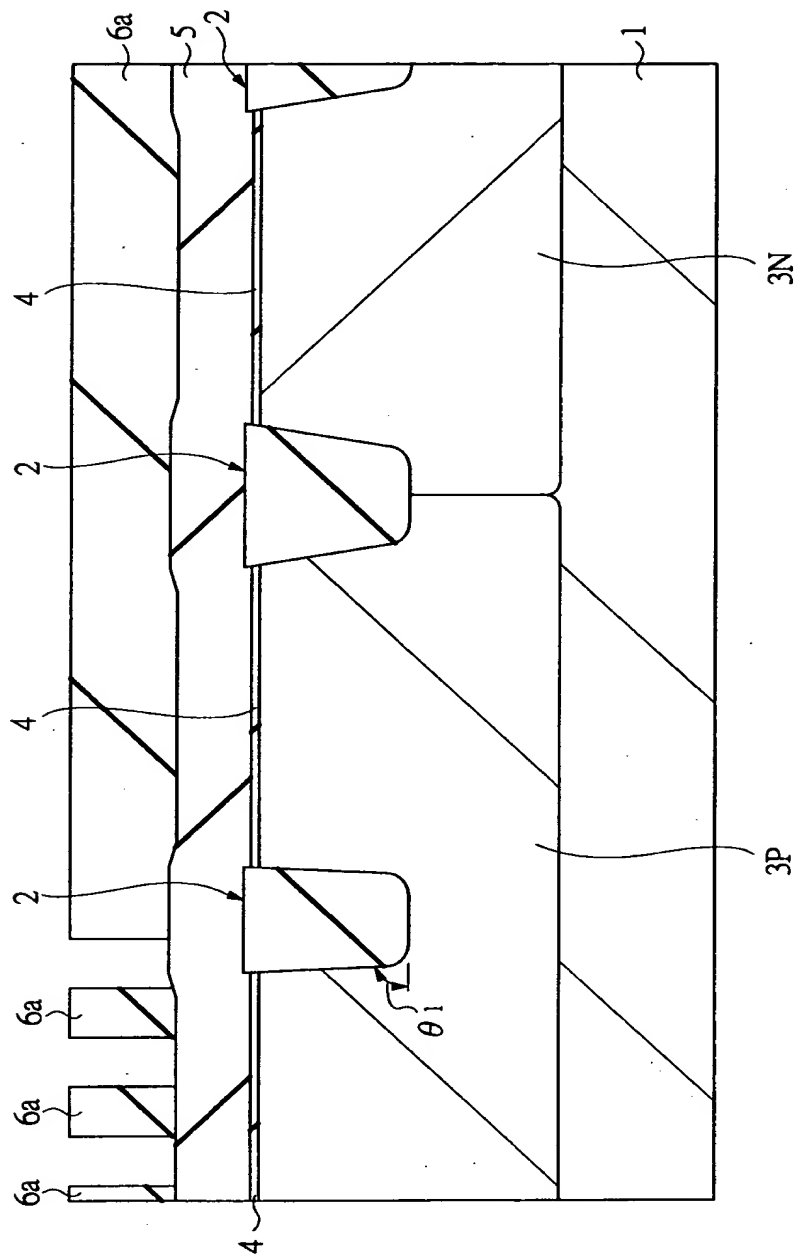
【図 2】

図 2

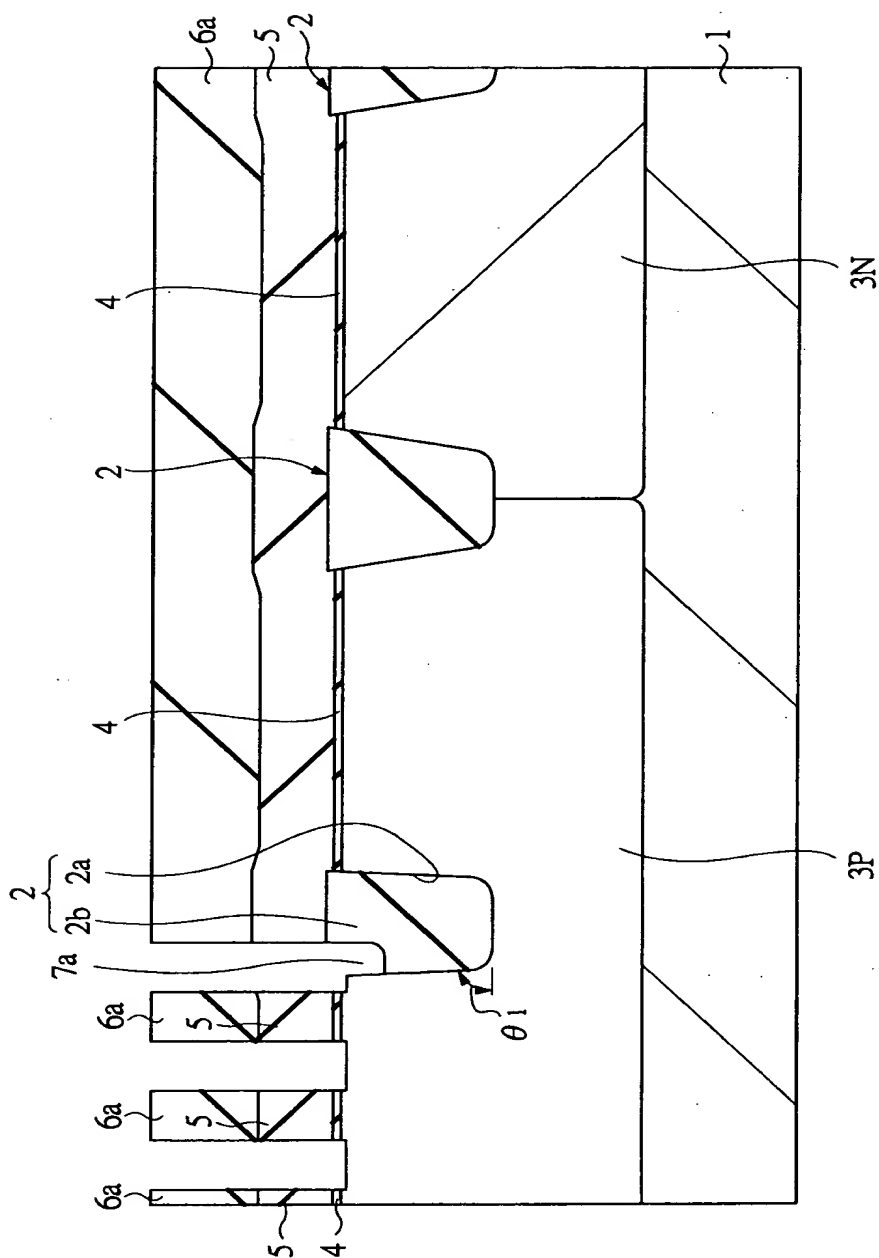


【図 3】

図 3

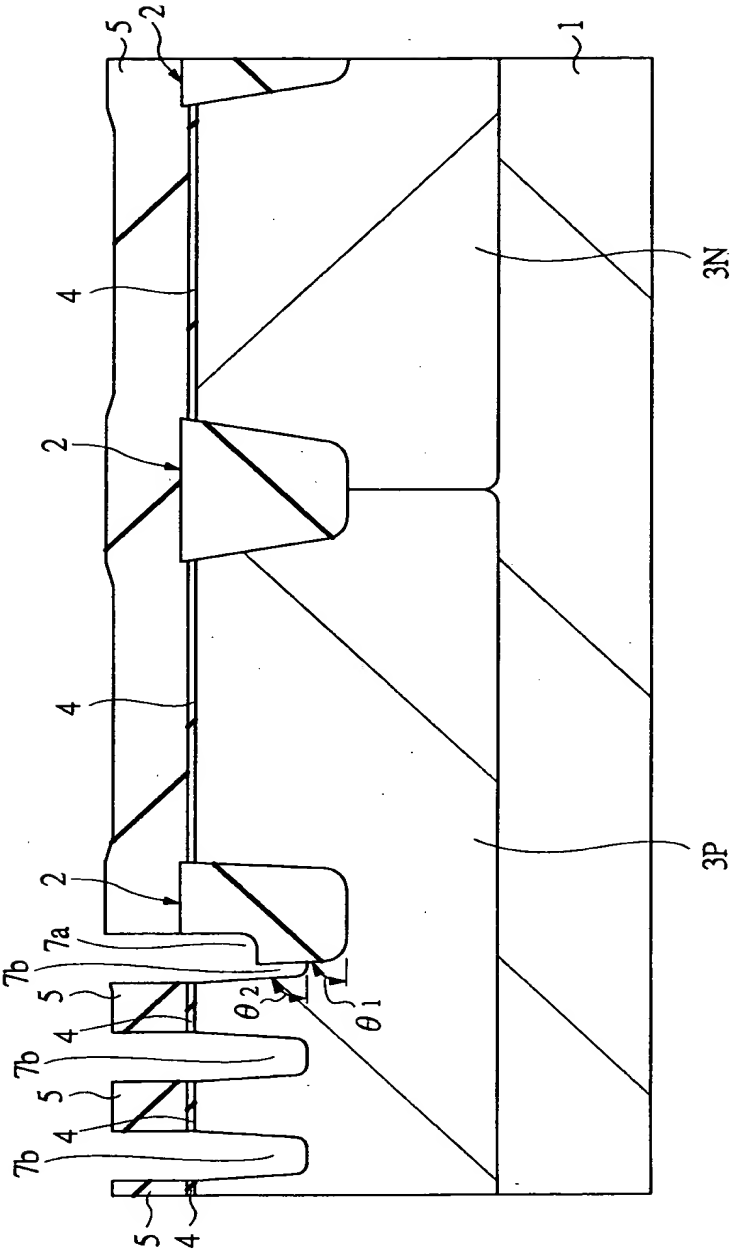


【图 4】



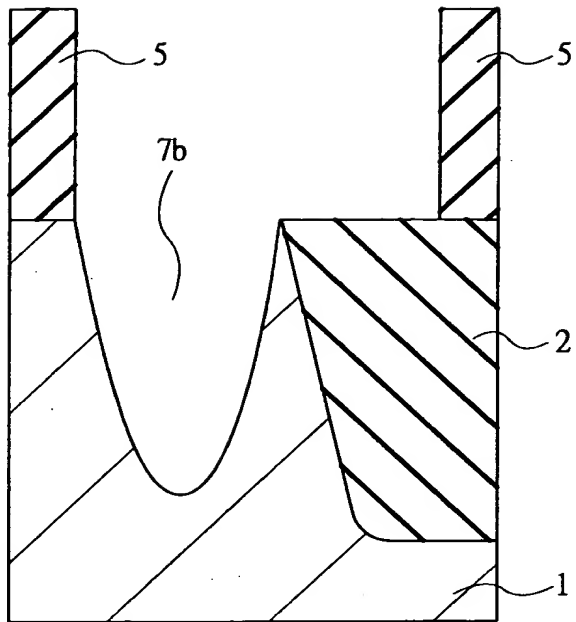
【図 5】

図 5



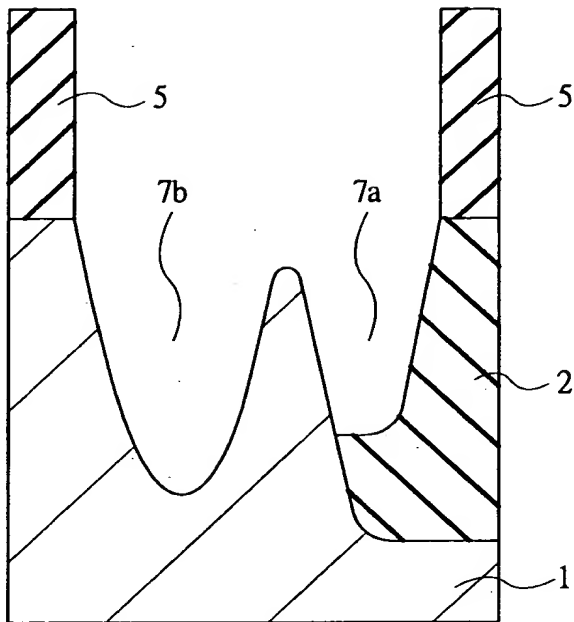
【図 6】

図 6



【図 7】

図 7



【図 8】

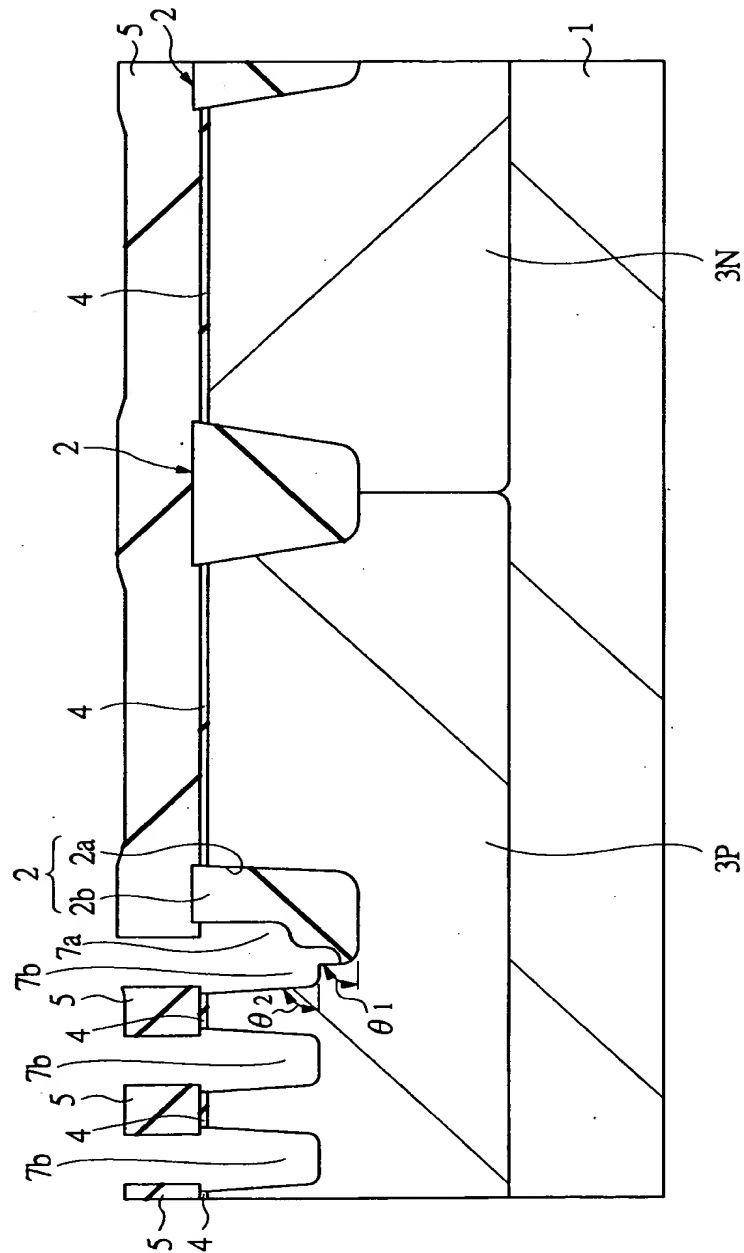
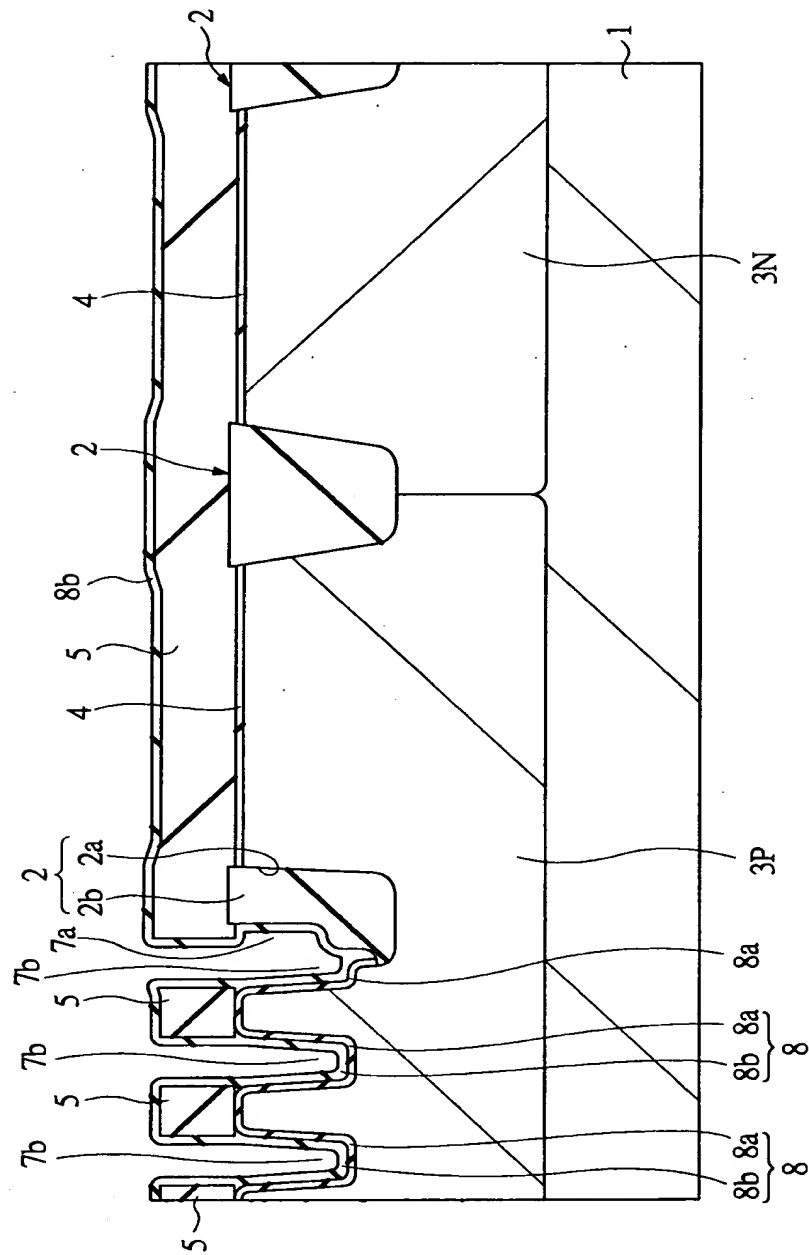


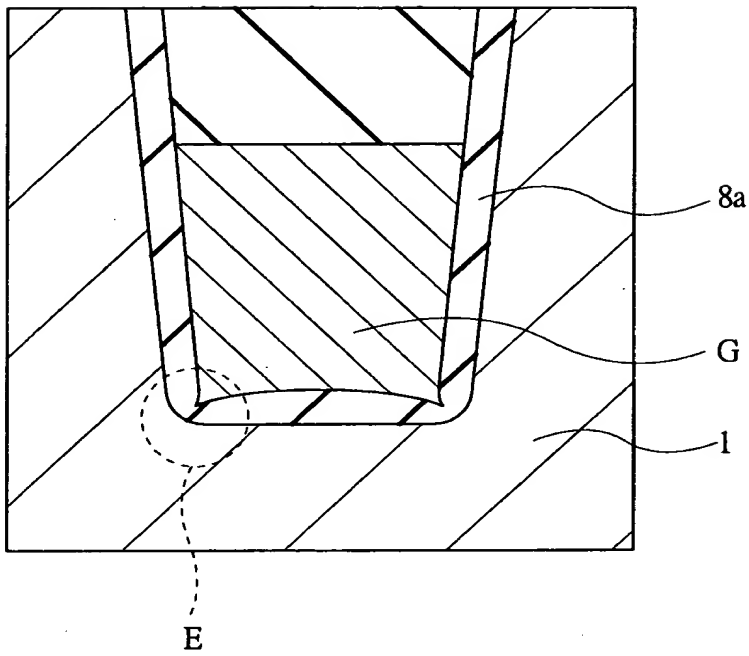
図 8

【图9】



【図 1 0】

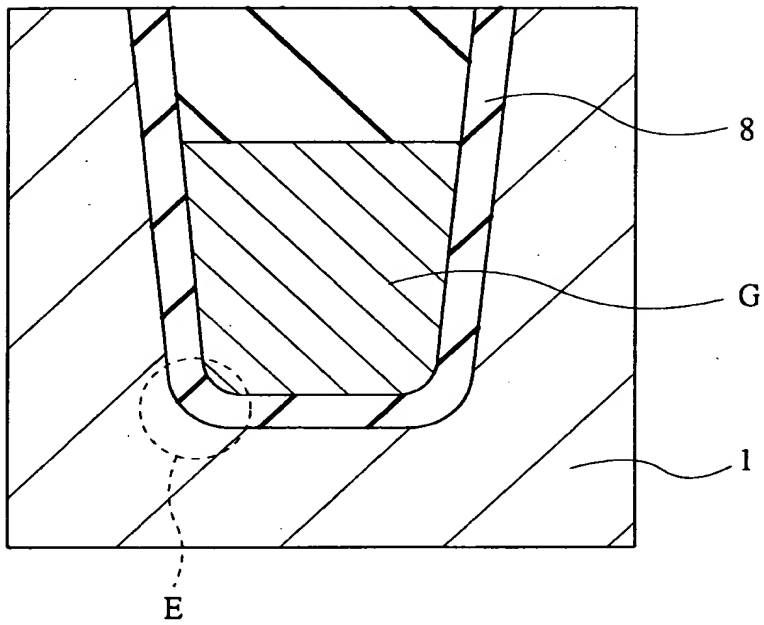
図 10



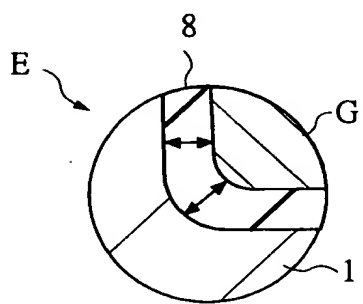
【図 1 1】

図 11

(a)

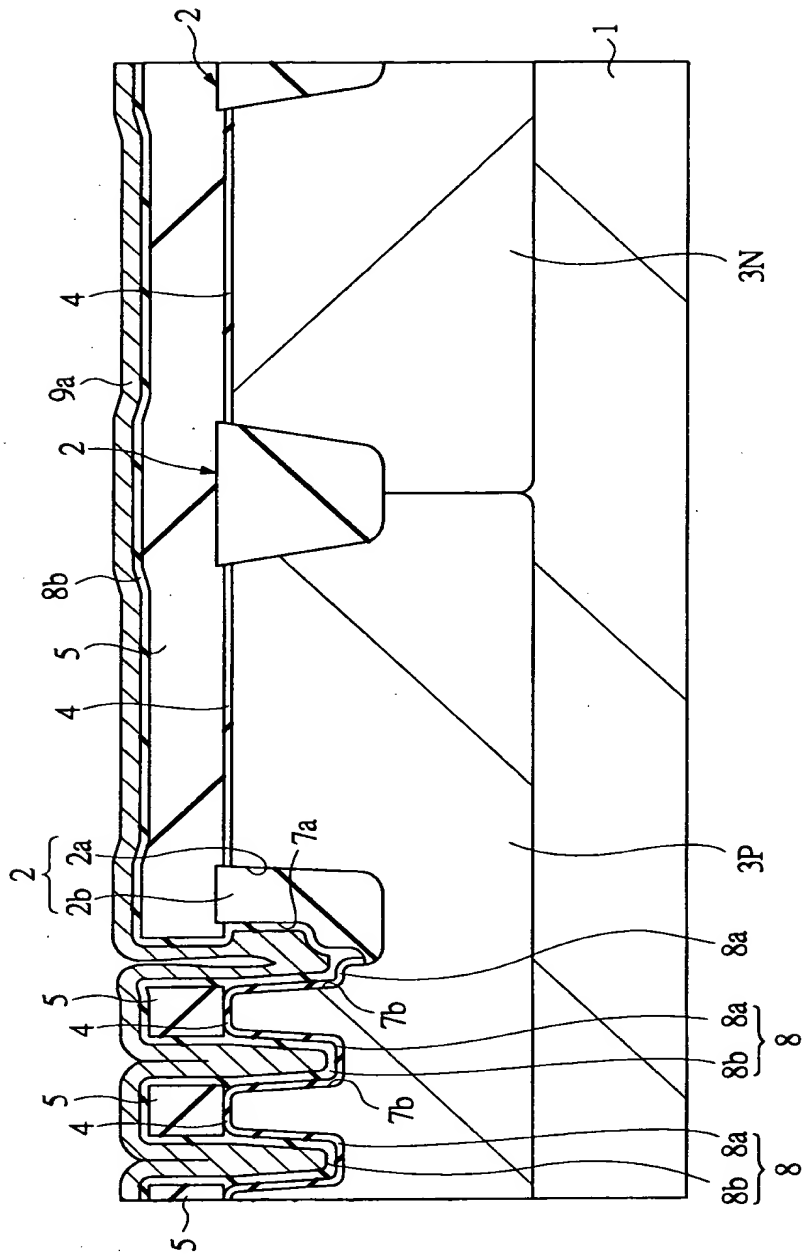


(b)



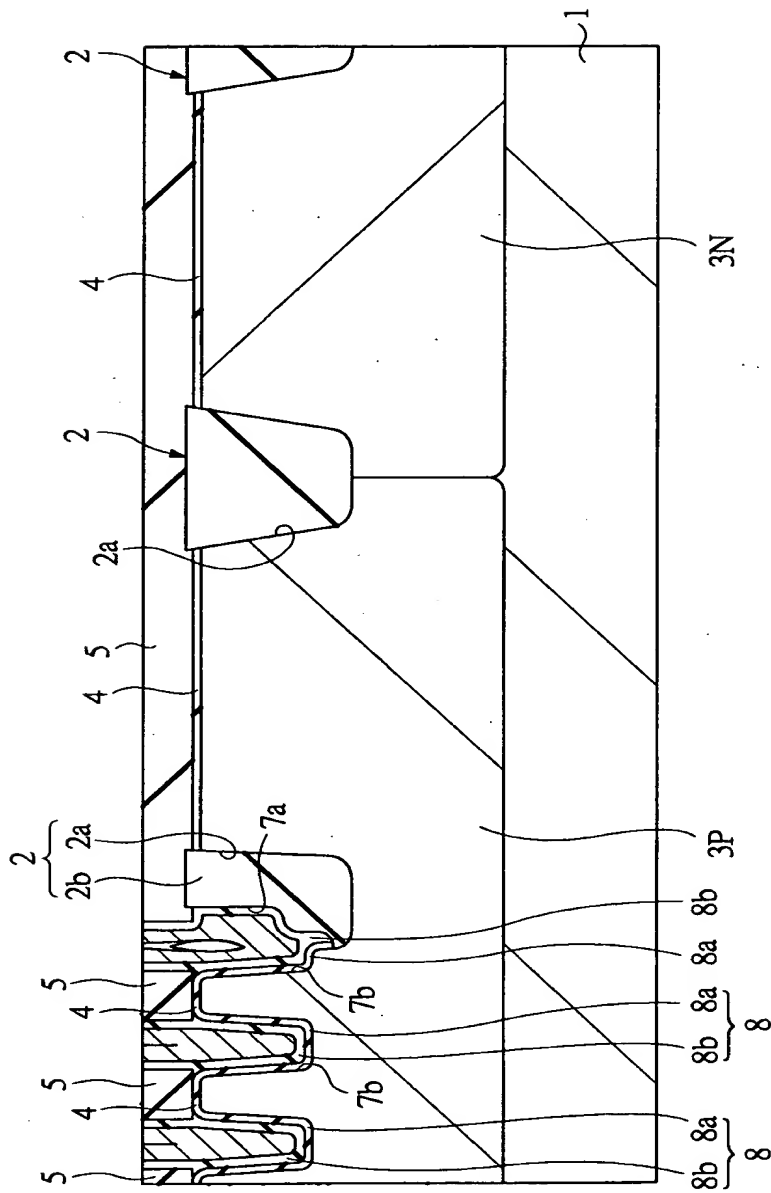
【図 12】

図 12



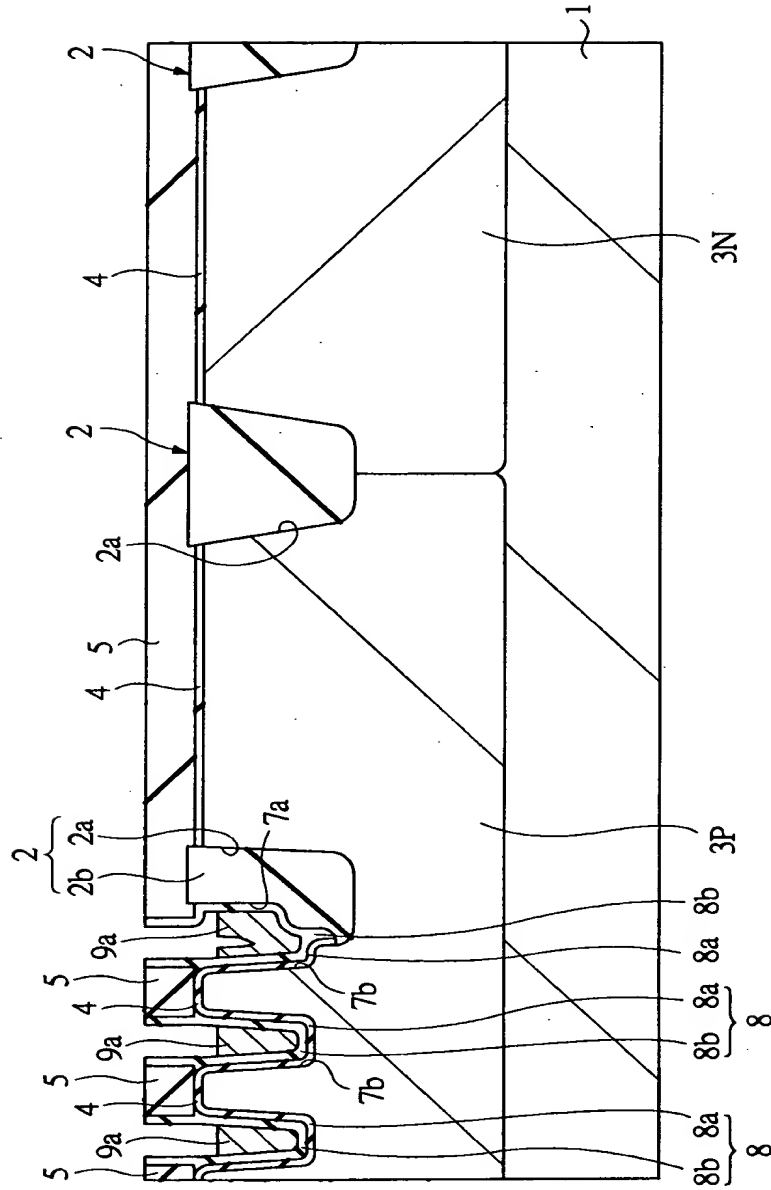
【図 13】

図 13



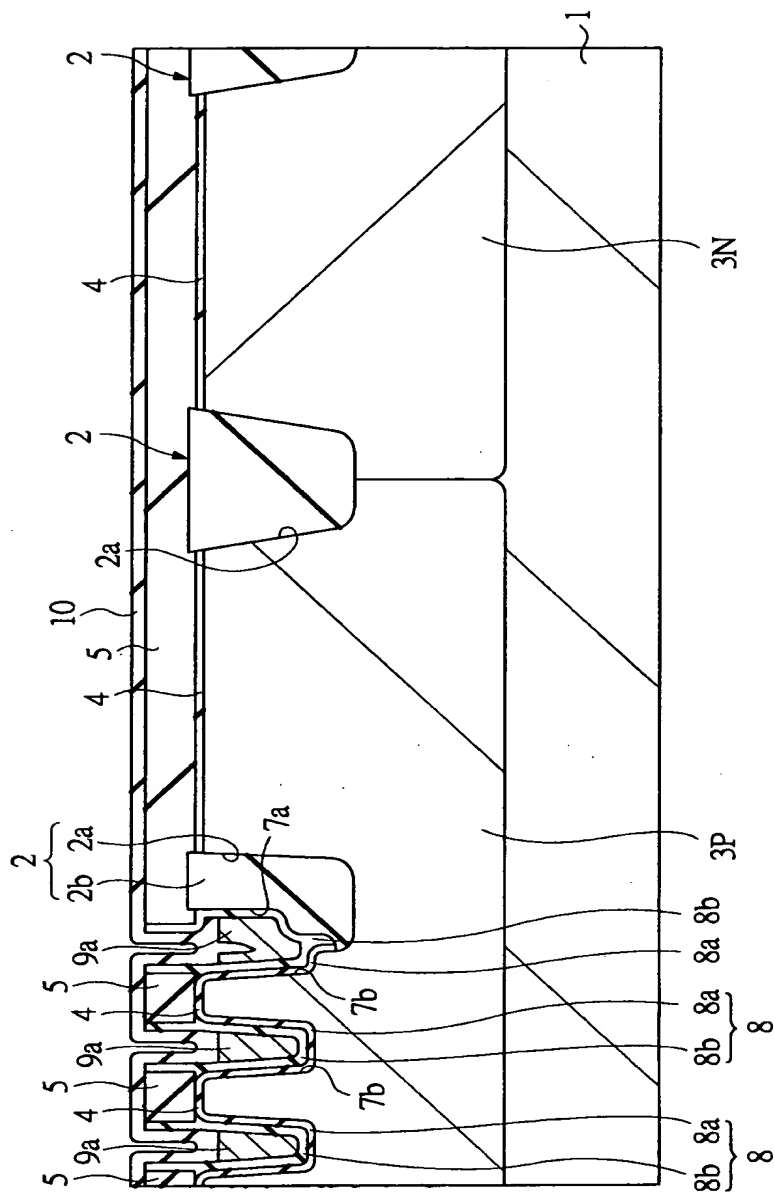
【 図 1 4 】

図 14

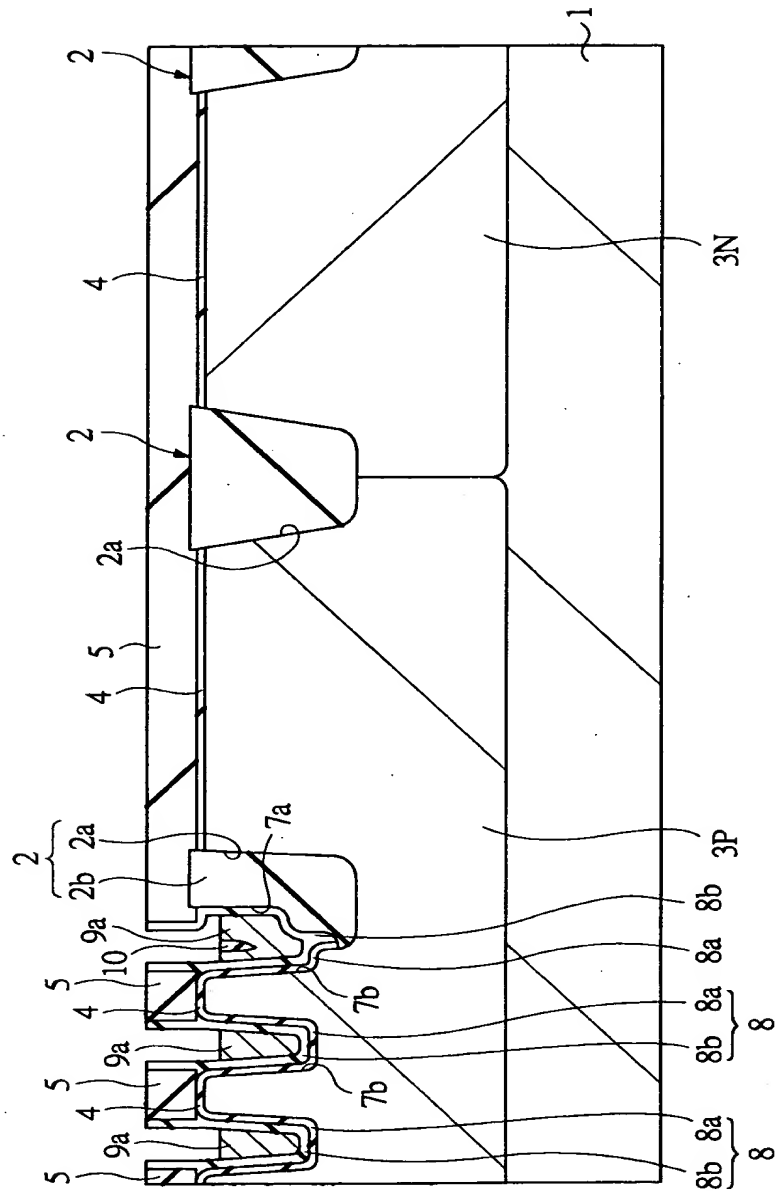


【図 15】

図 15

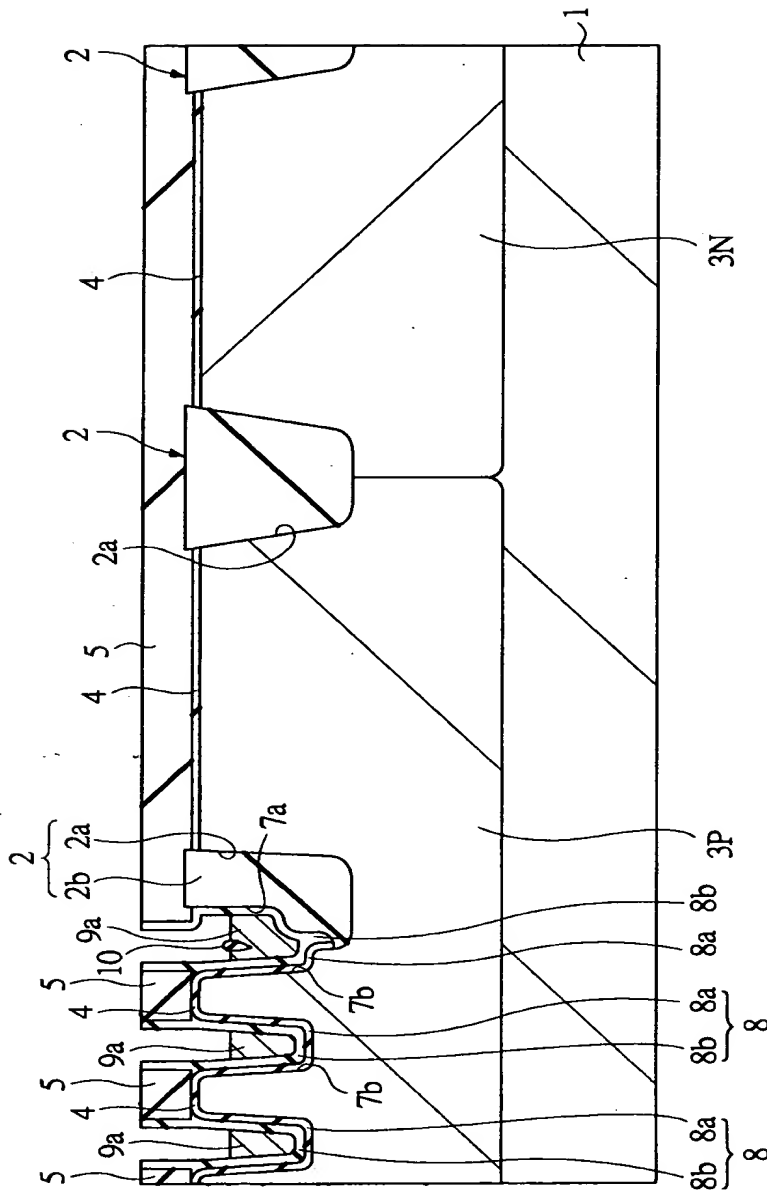


【図 16】



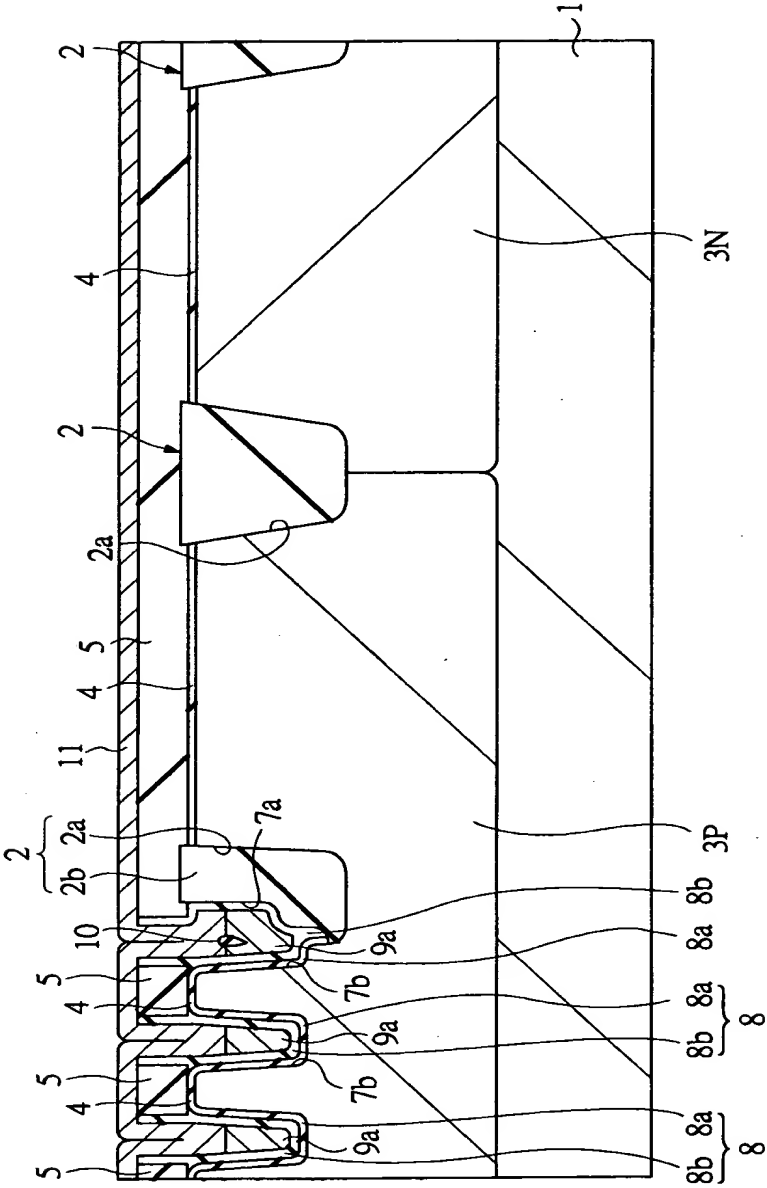
【図17】

図 17

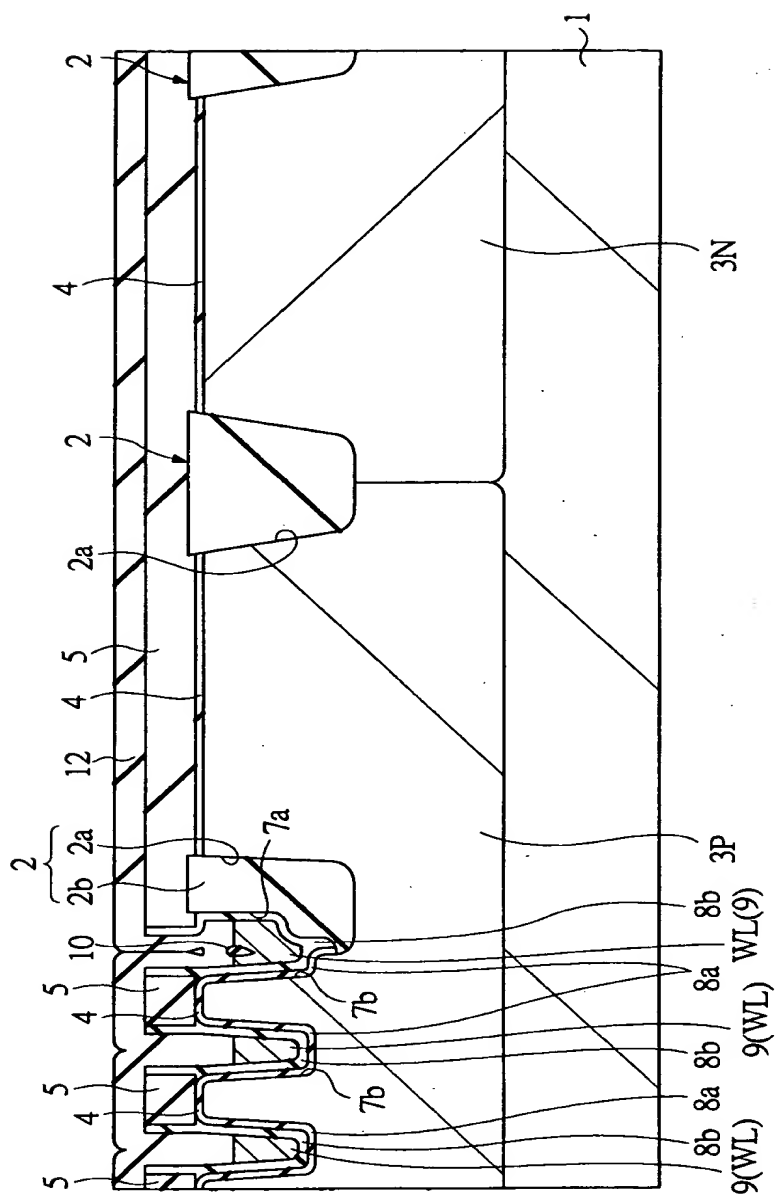


【図 18】

図 18

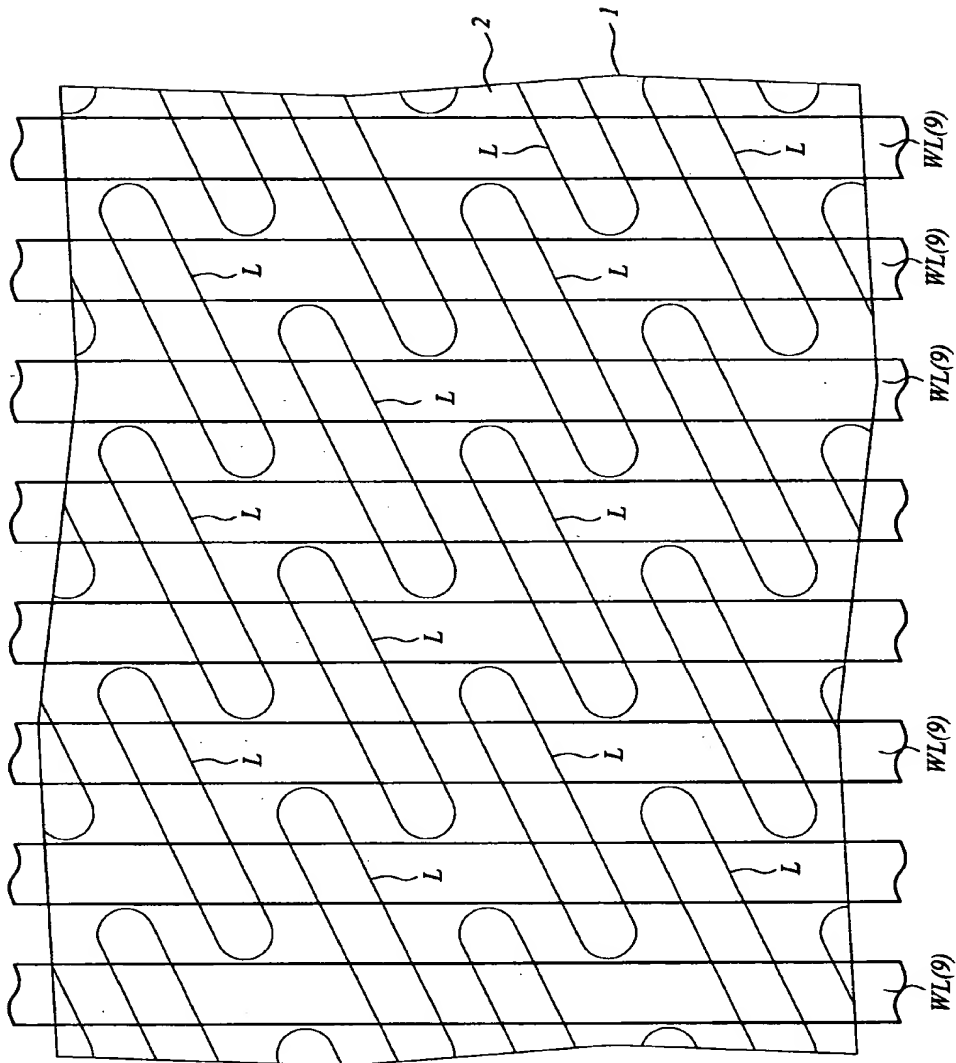


【图 19】



【図 20】

図 20



【 図 2 1 】

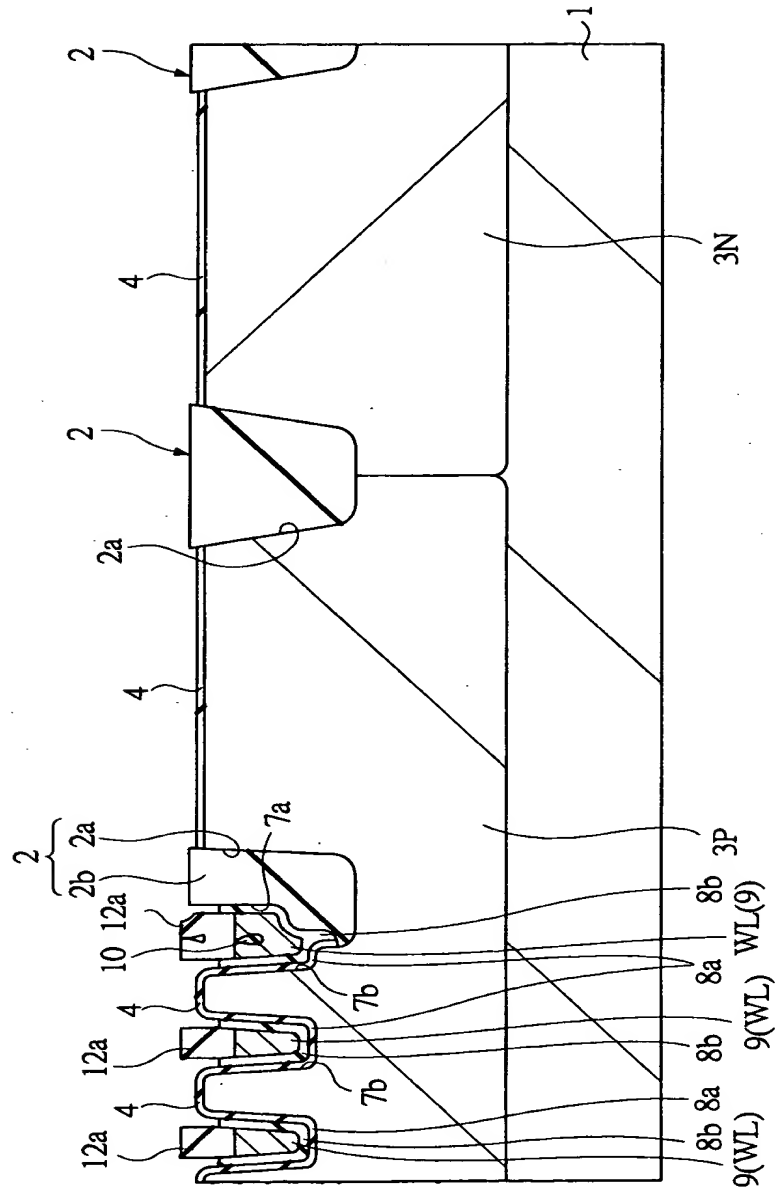
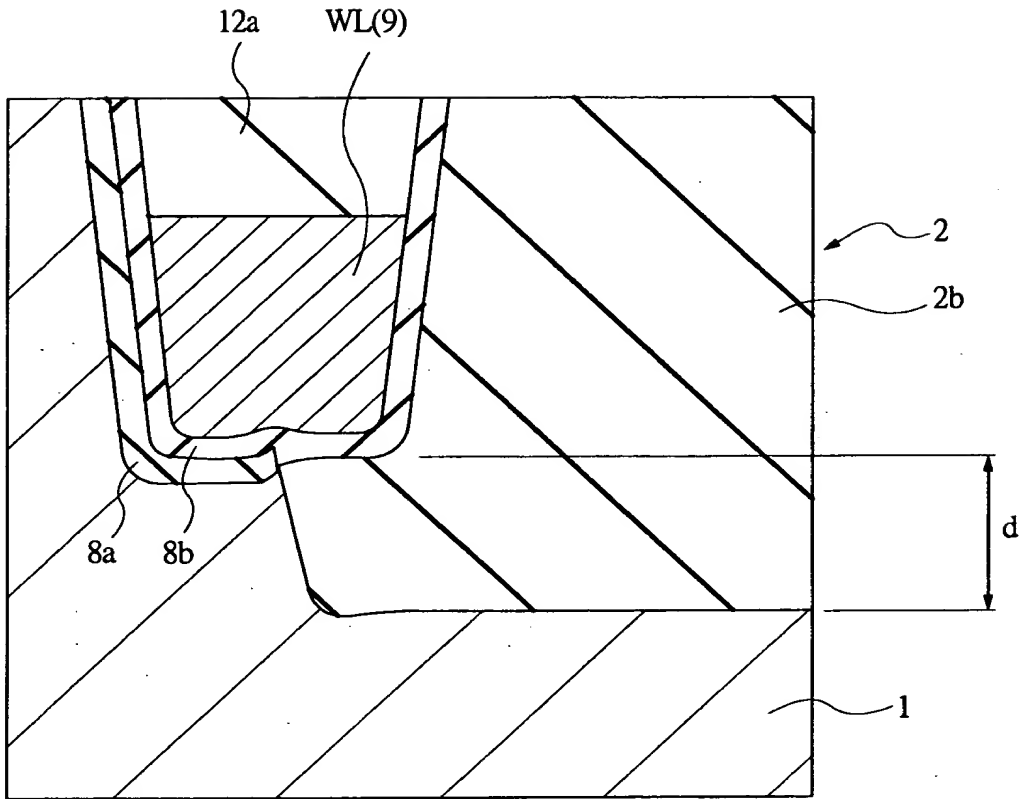


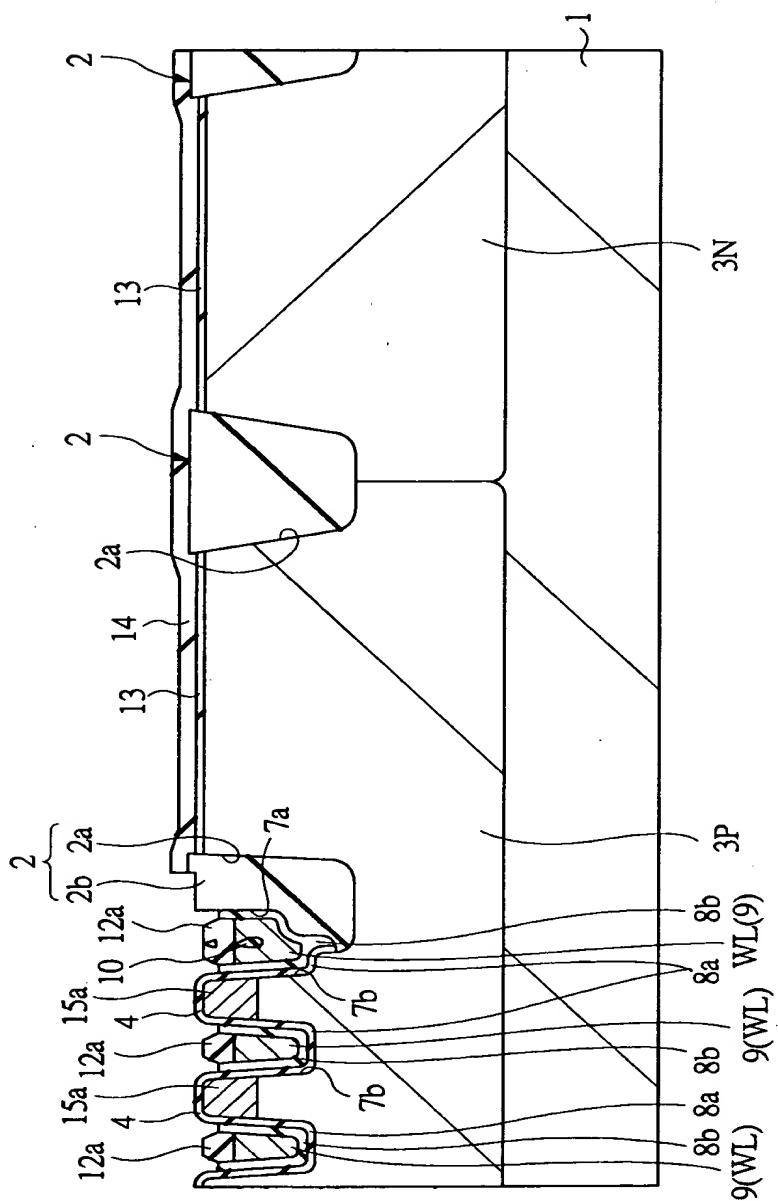
図 21

【図 2 2】

図 22

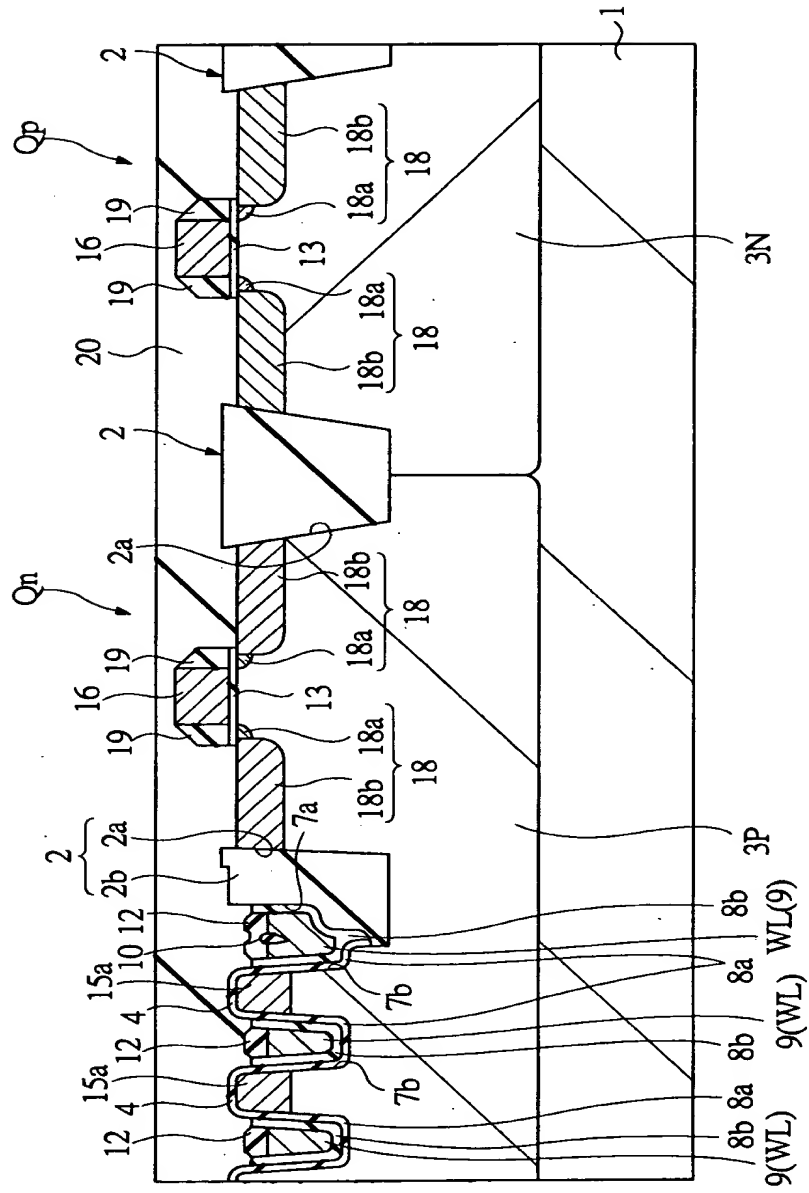


【図 23】



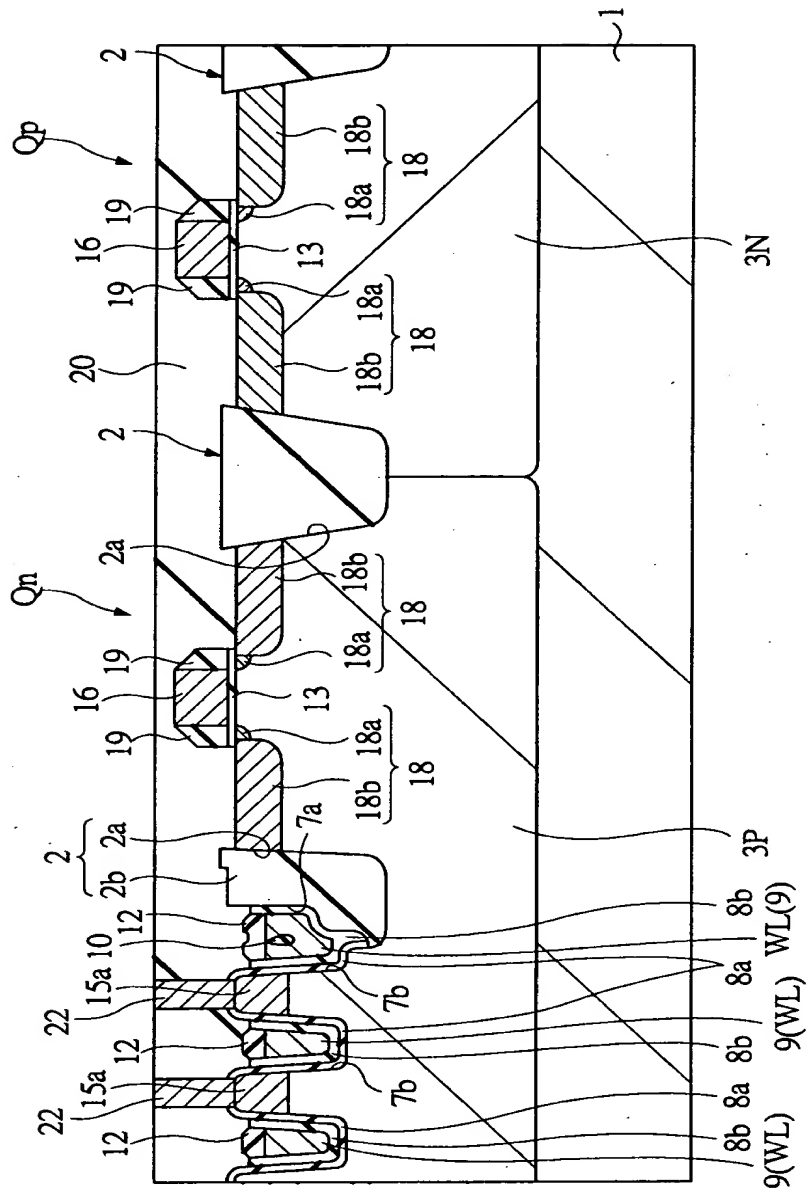
【図 2 4】

図 24



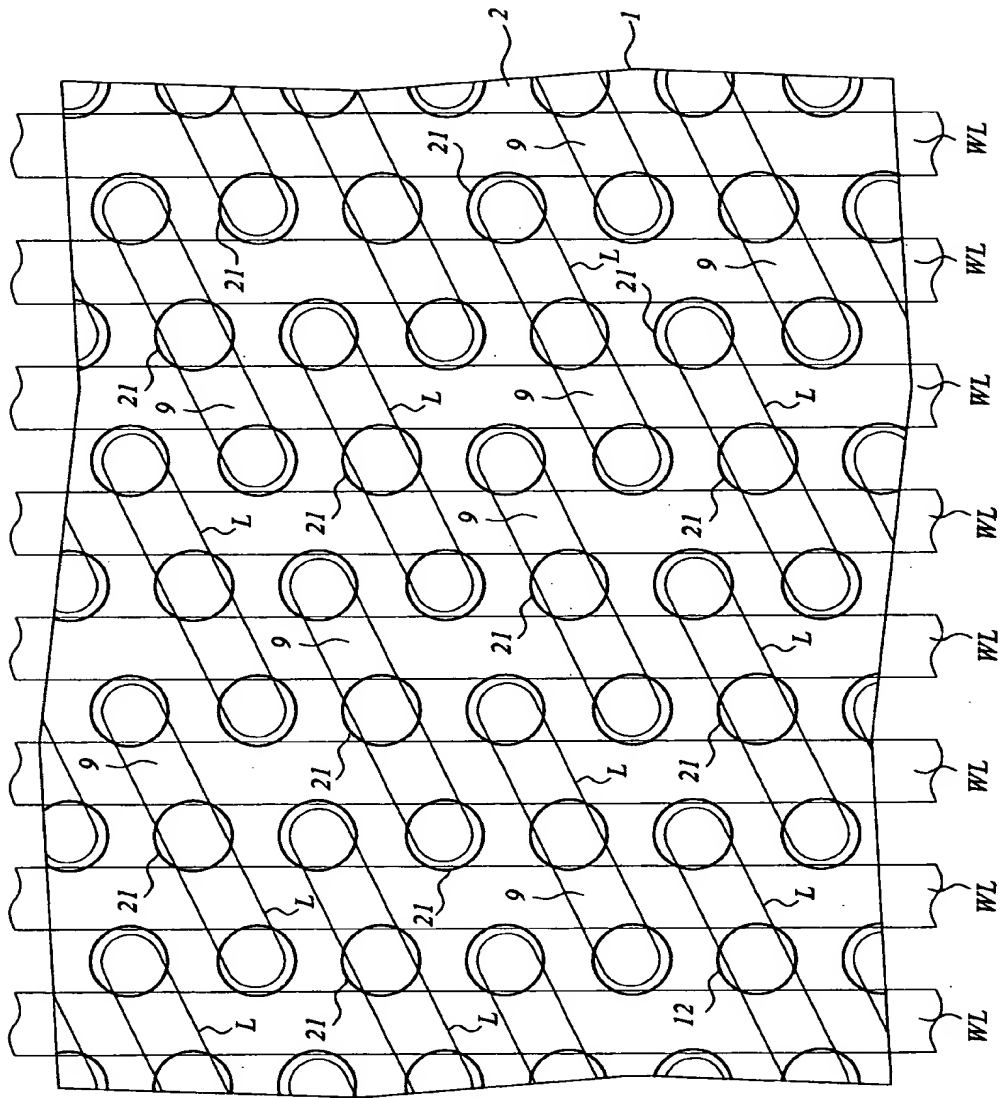
【図 25】

図 25



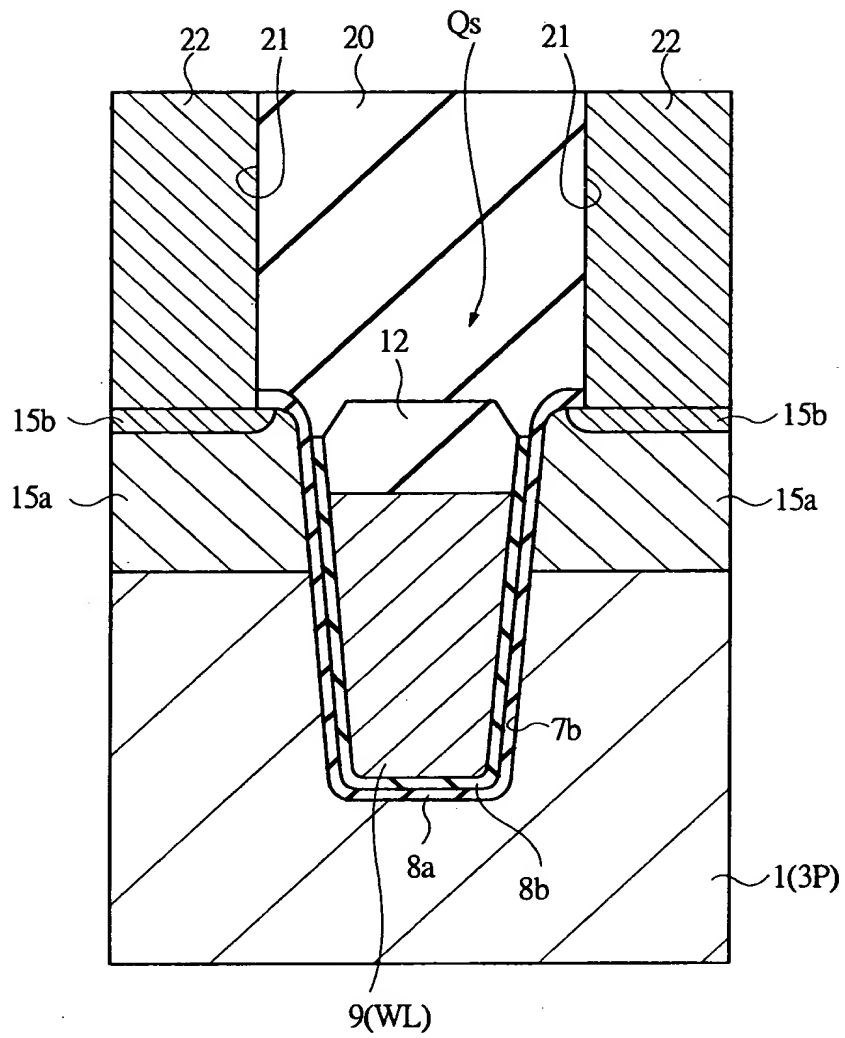
【図 26】

図 26

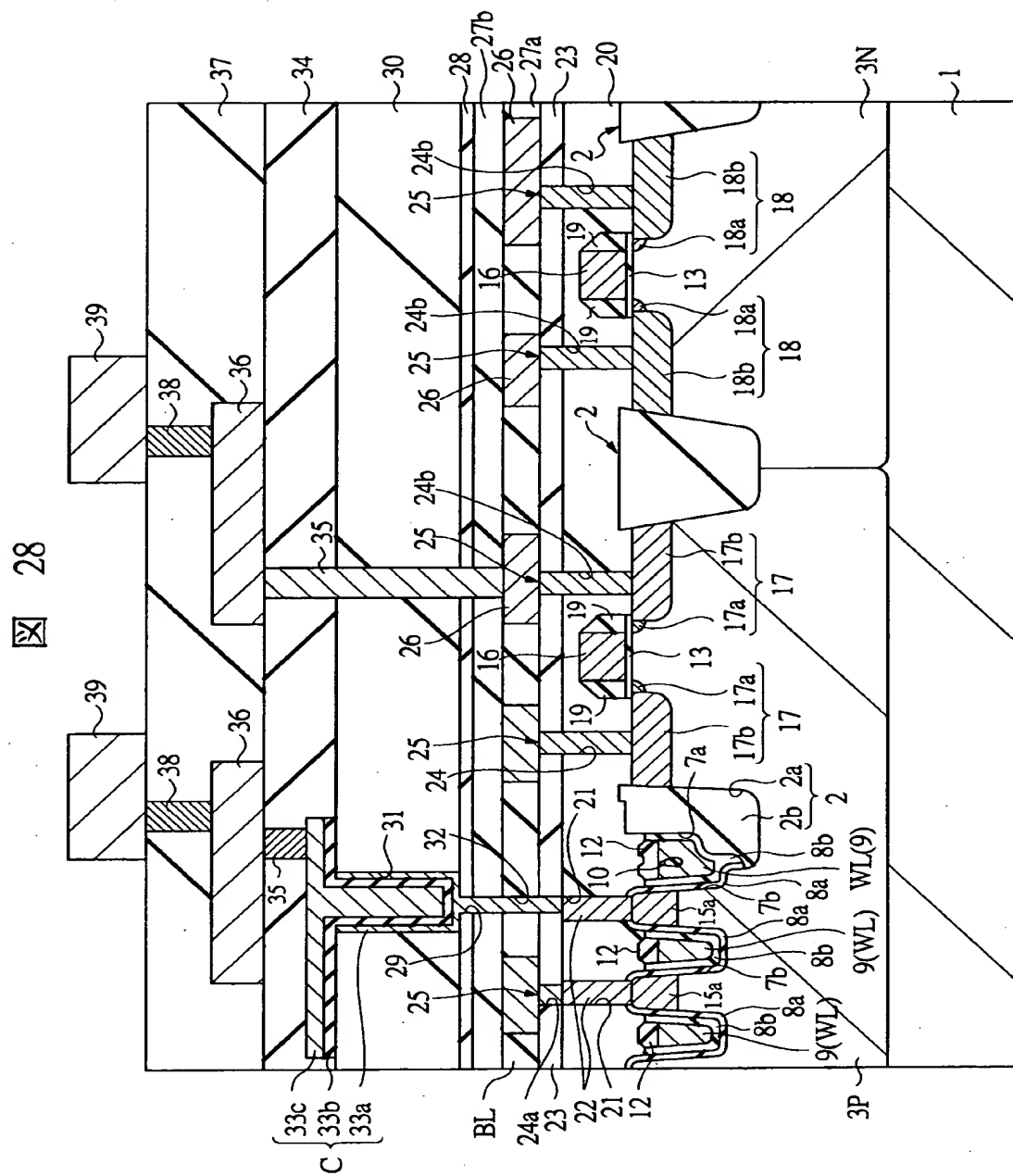


【図 27】

図 27



【図 28】



【図 29】

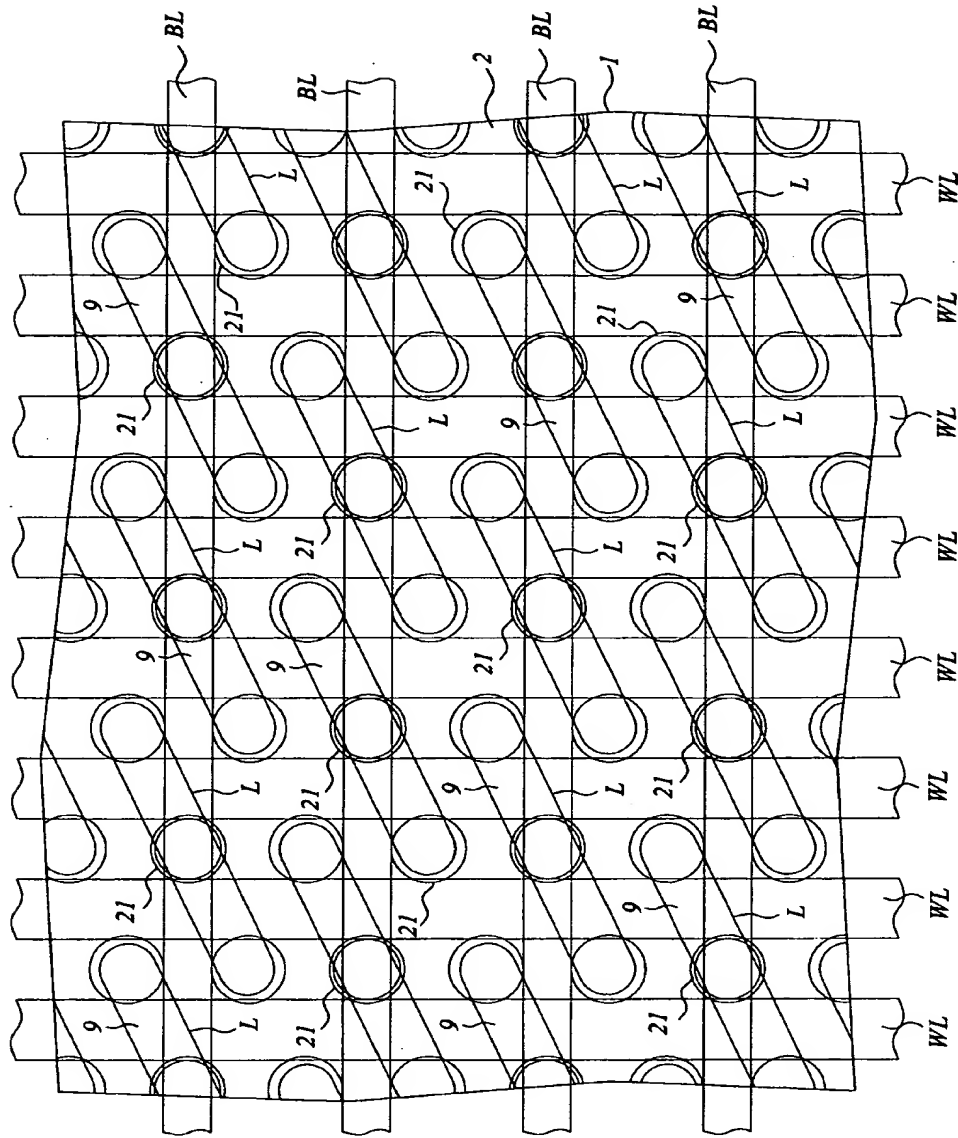
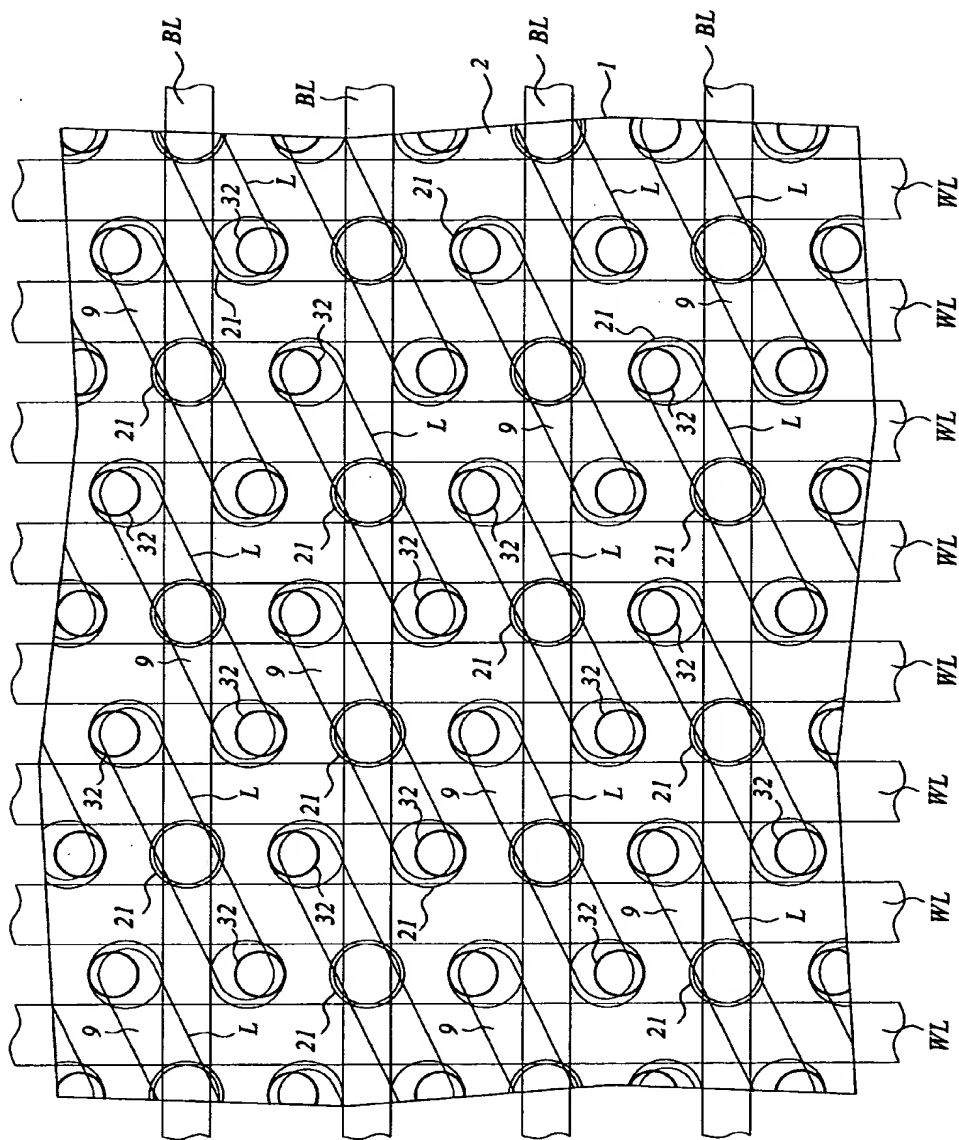


図 29

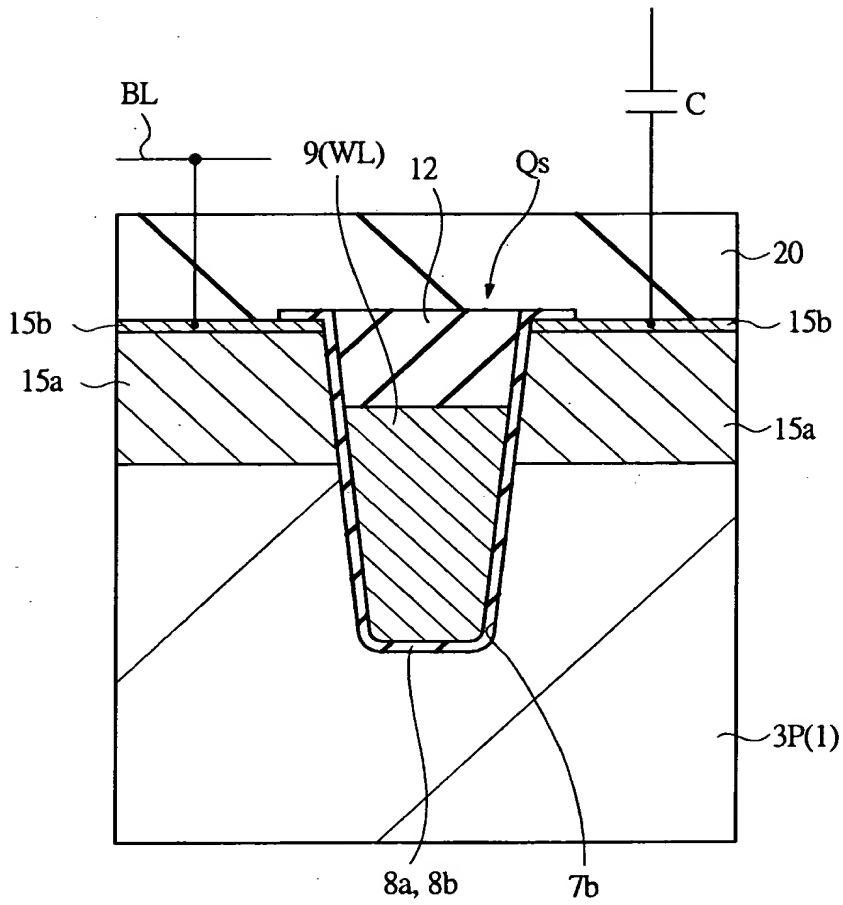
【図 30】

図 30



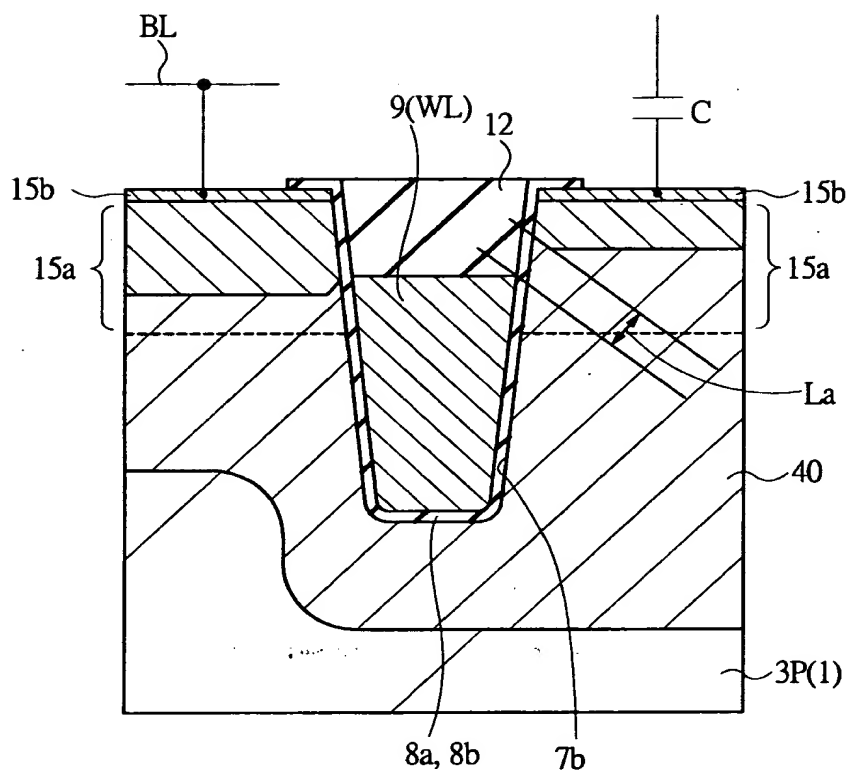
【図 31】

図 31



【図 3 2】

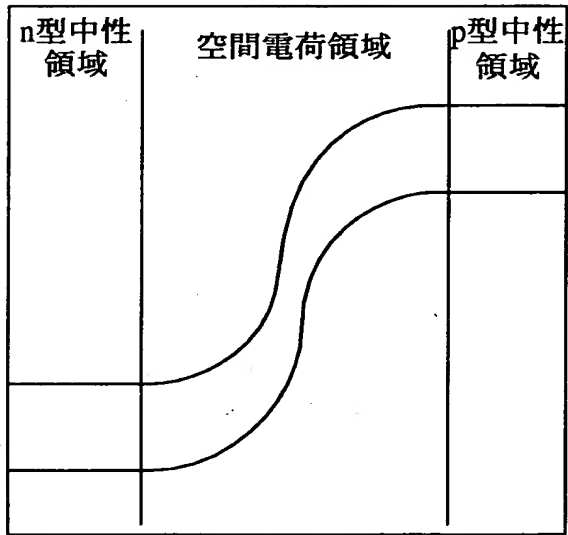
図 32



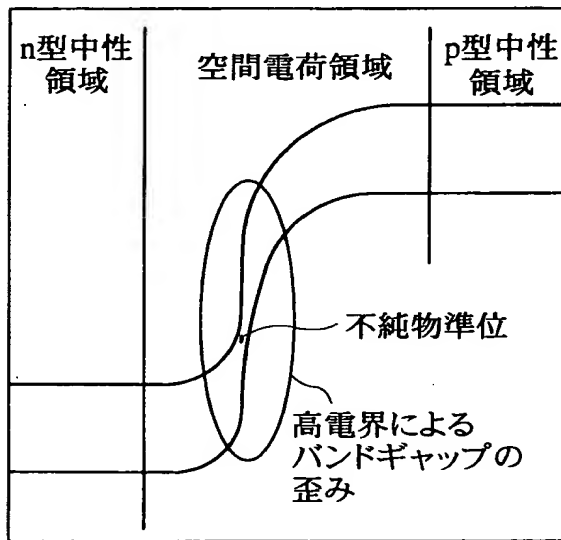
【図 3 3】

図 33

(a)

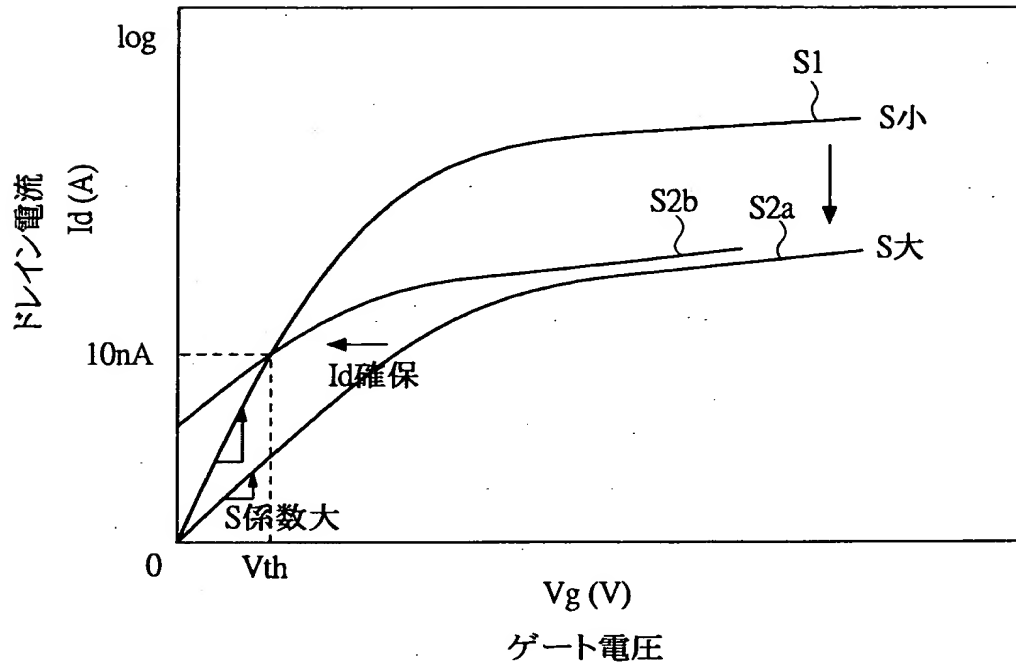


(b)



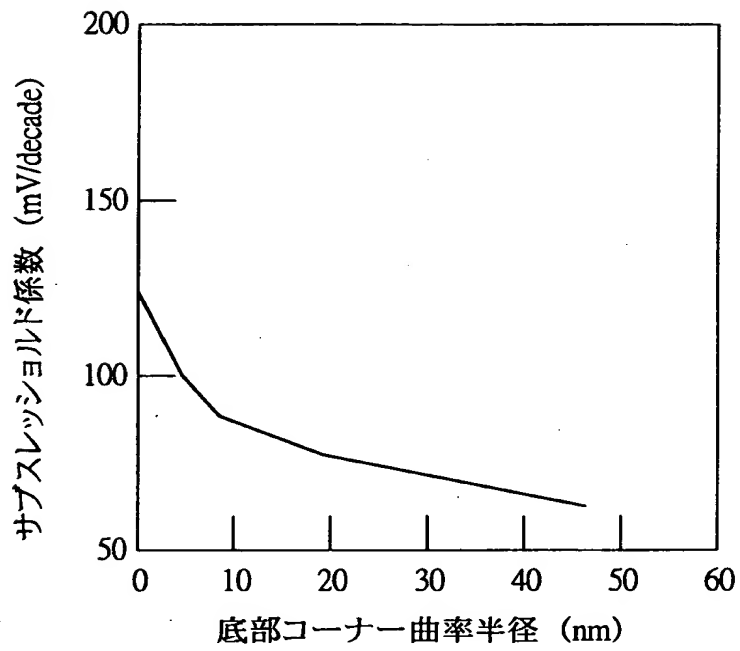
【図 3 4】

図 34



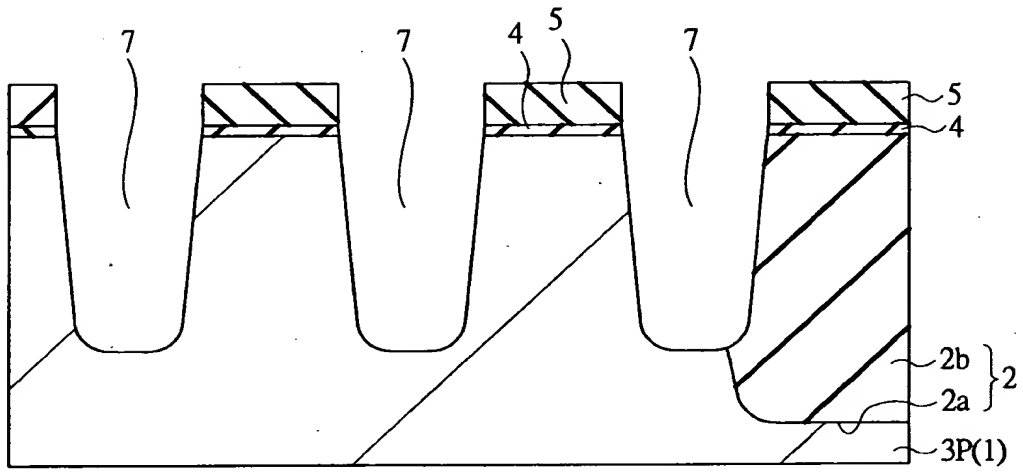
【図 3 5】

図 35



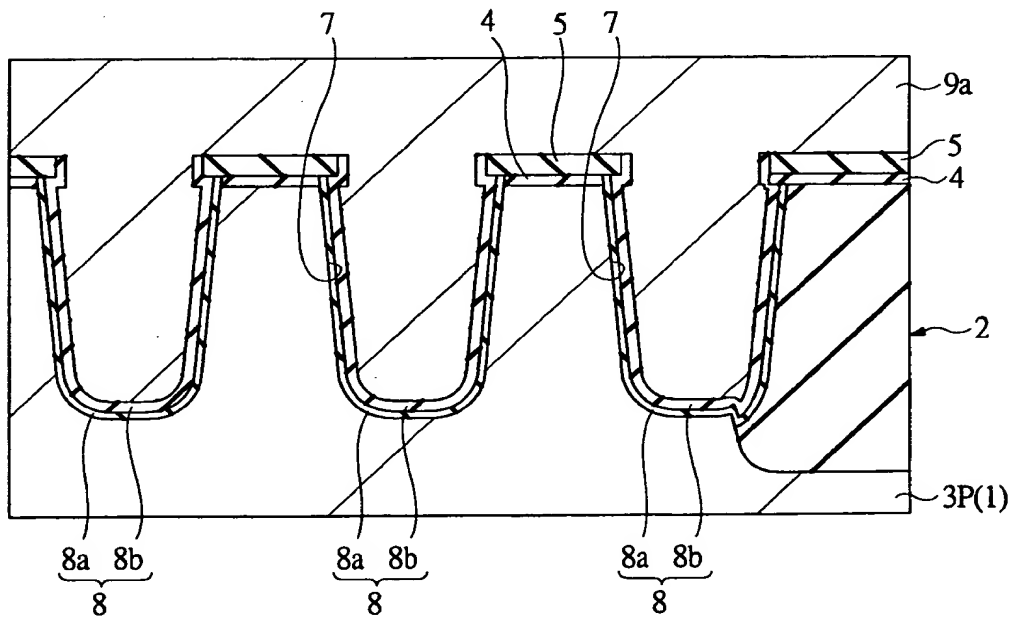
【図 36】

図 36



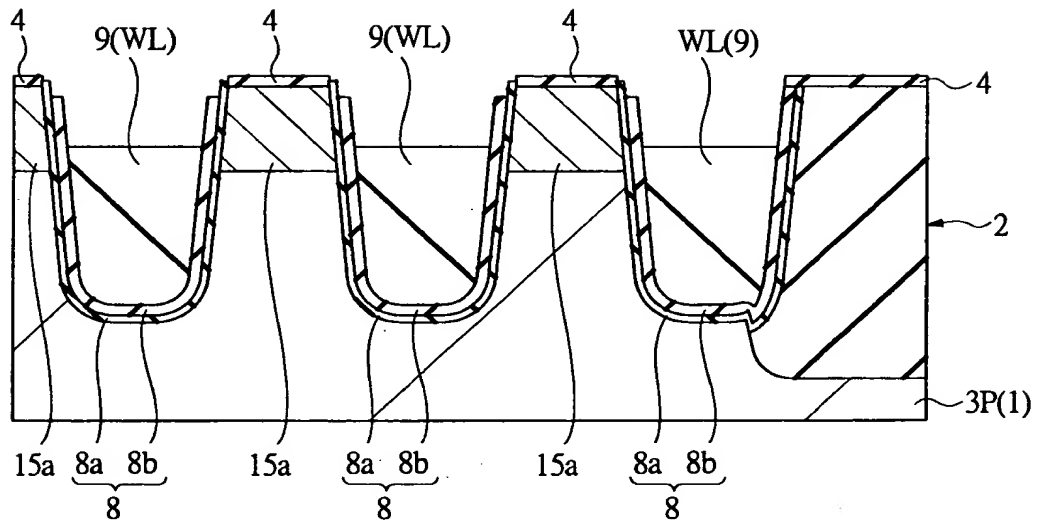
【図 37】

図 37



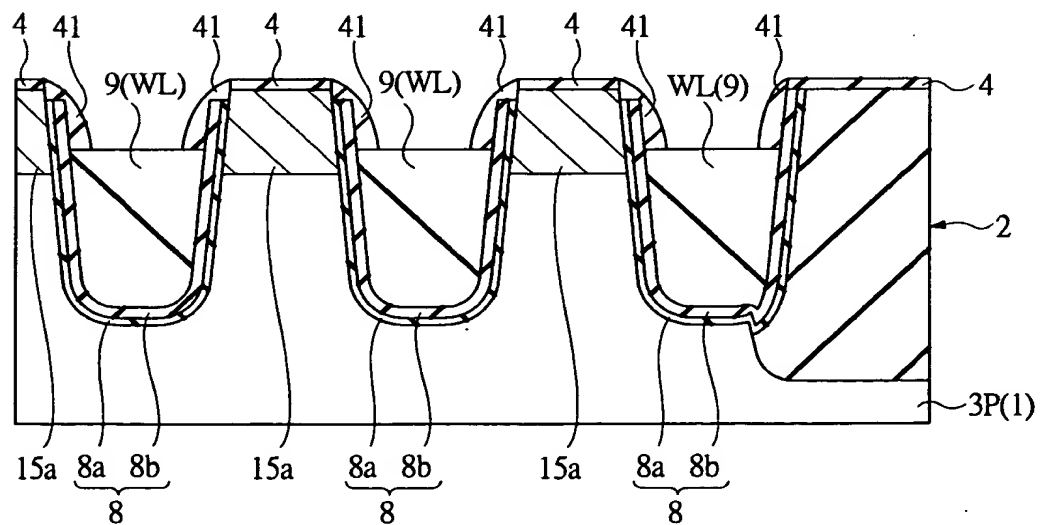
【图 3 8】

図 38

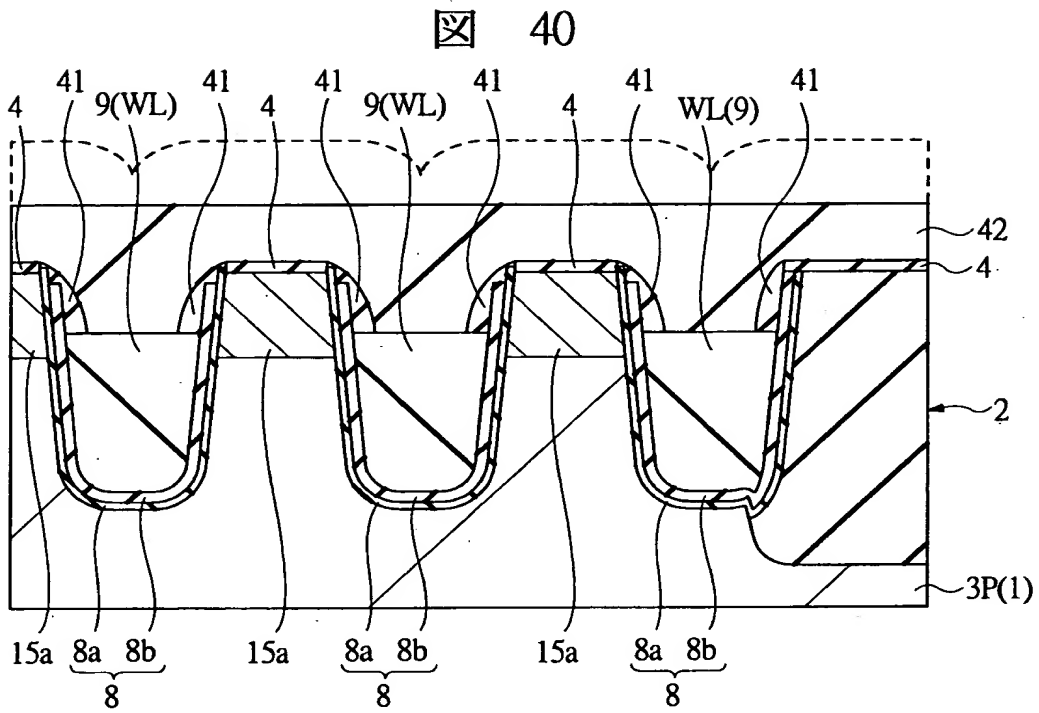


【図 39】

図 39

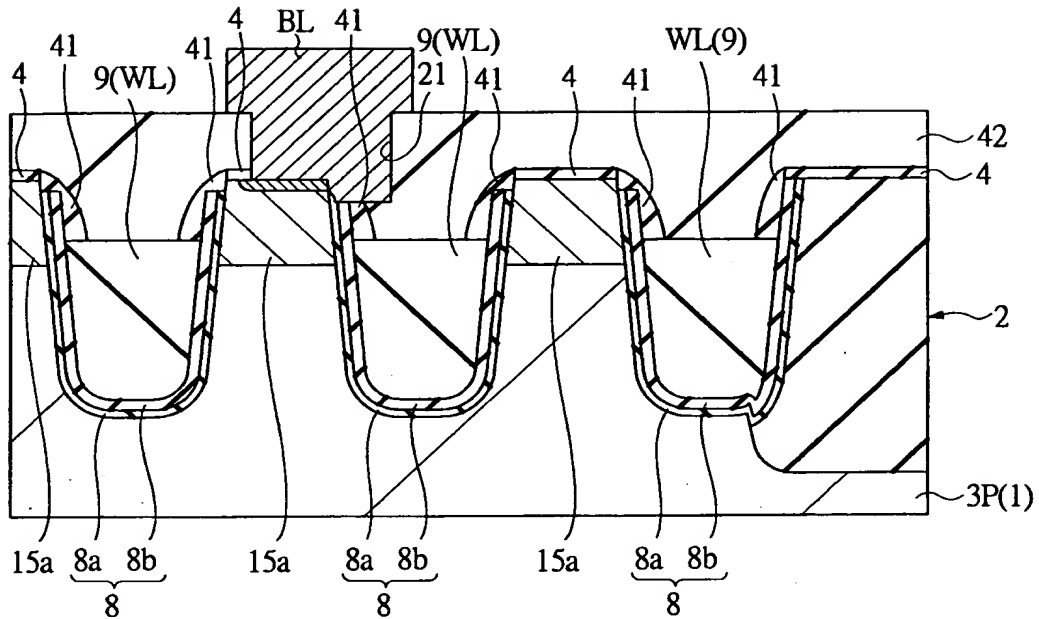


【図 4 0】



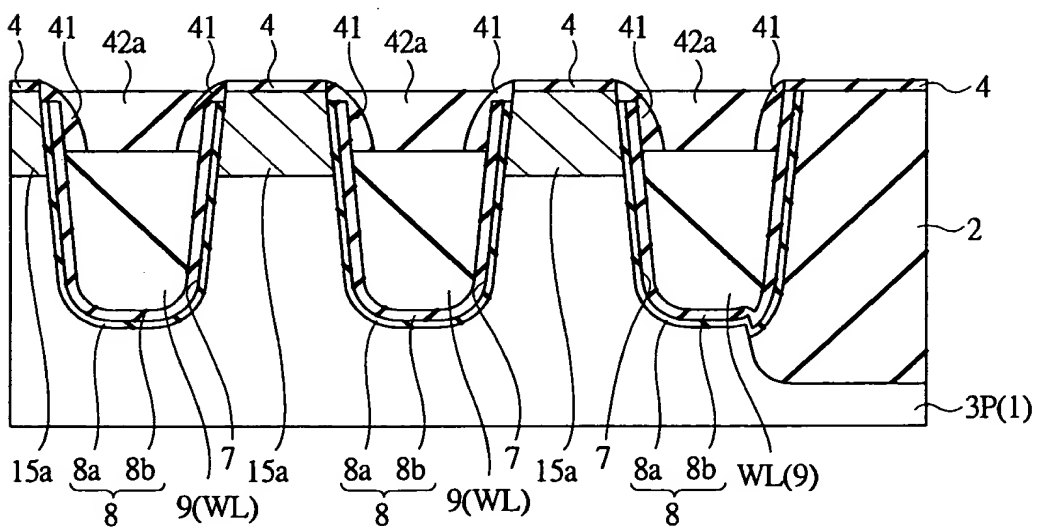
【図 4 1】

図 41



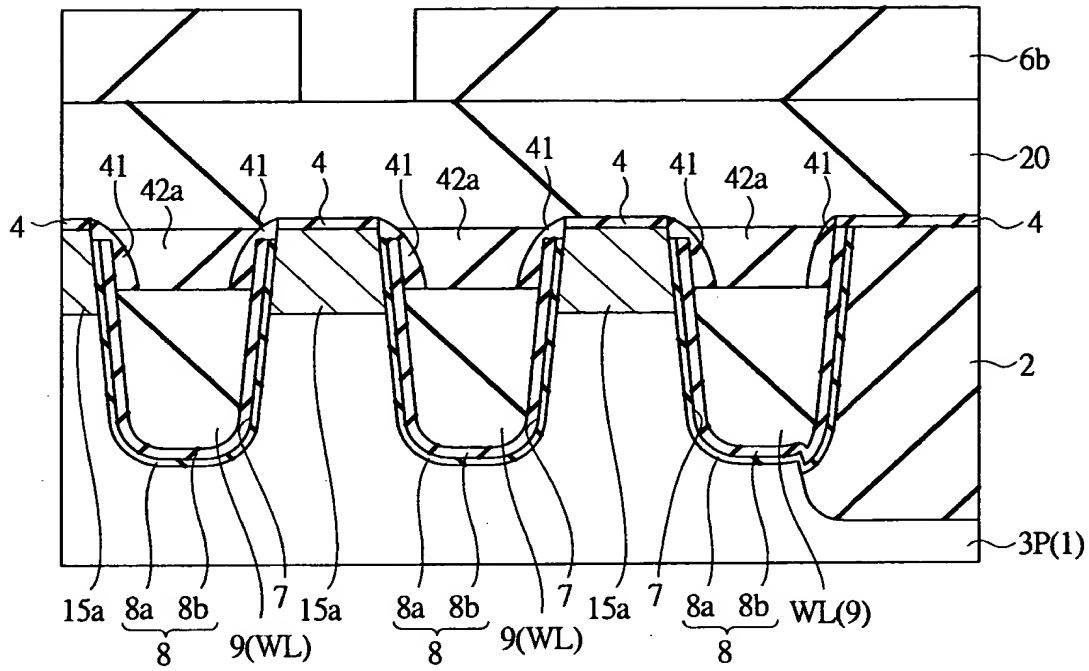
【图 4 2】

図 42



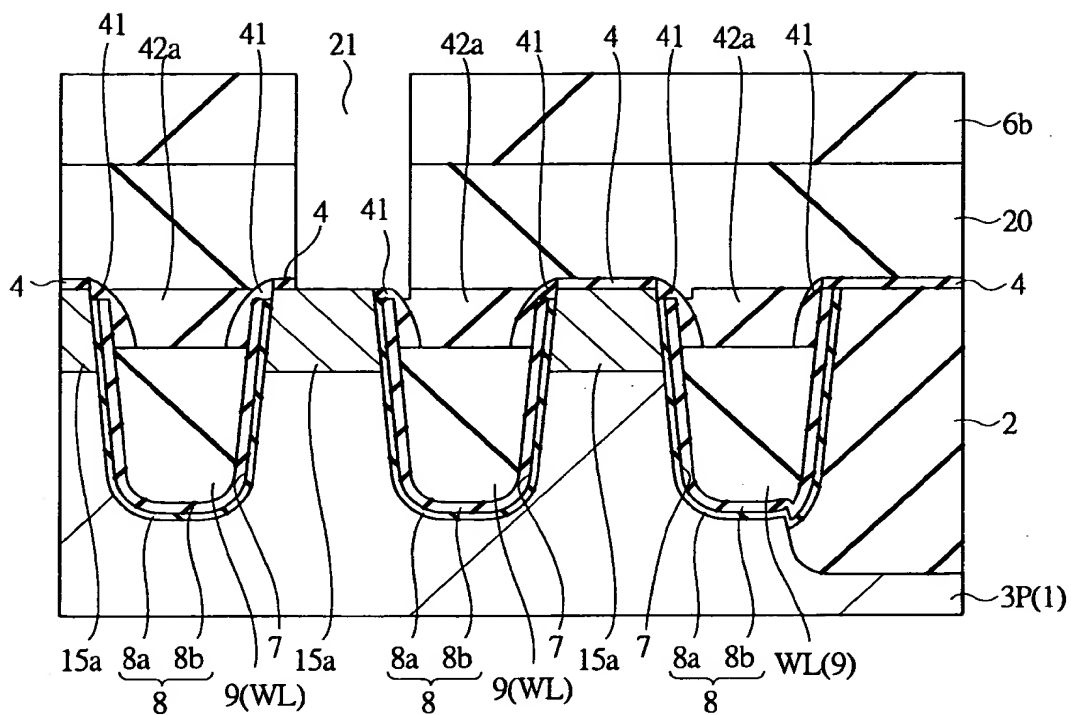
【図 4 3】

图 43



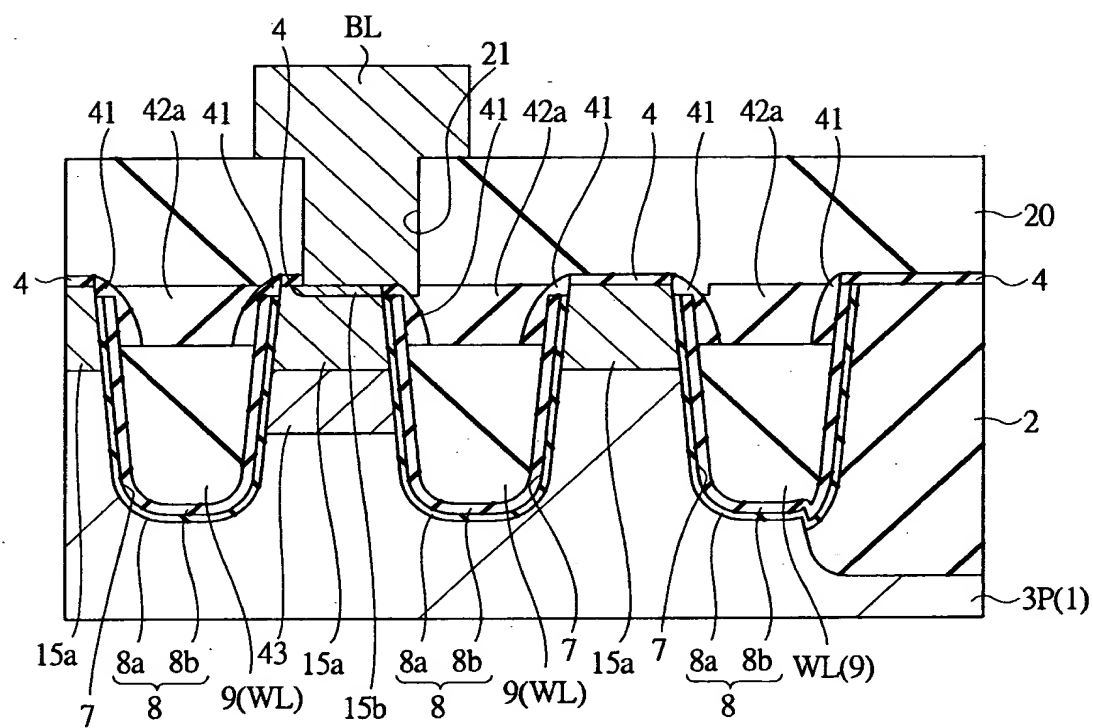
【图 4 4】

图 44



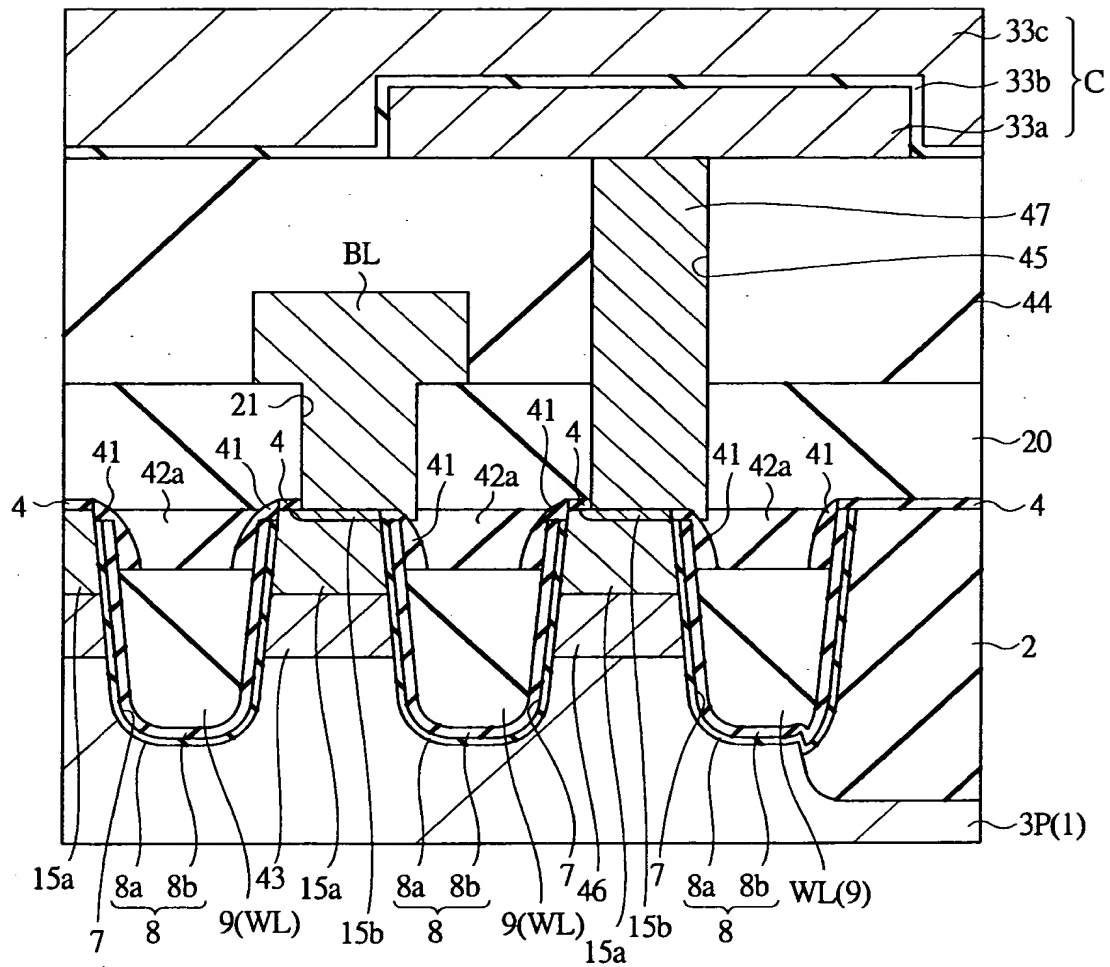
【図 4 5】

图 45

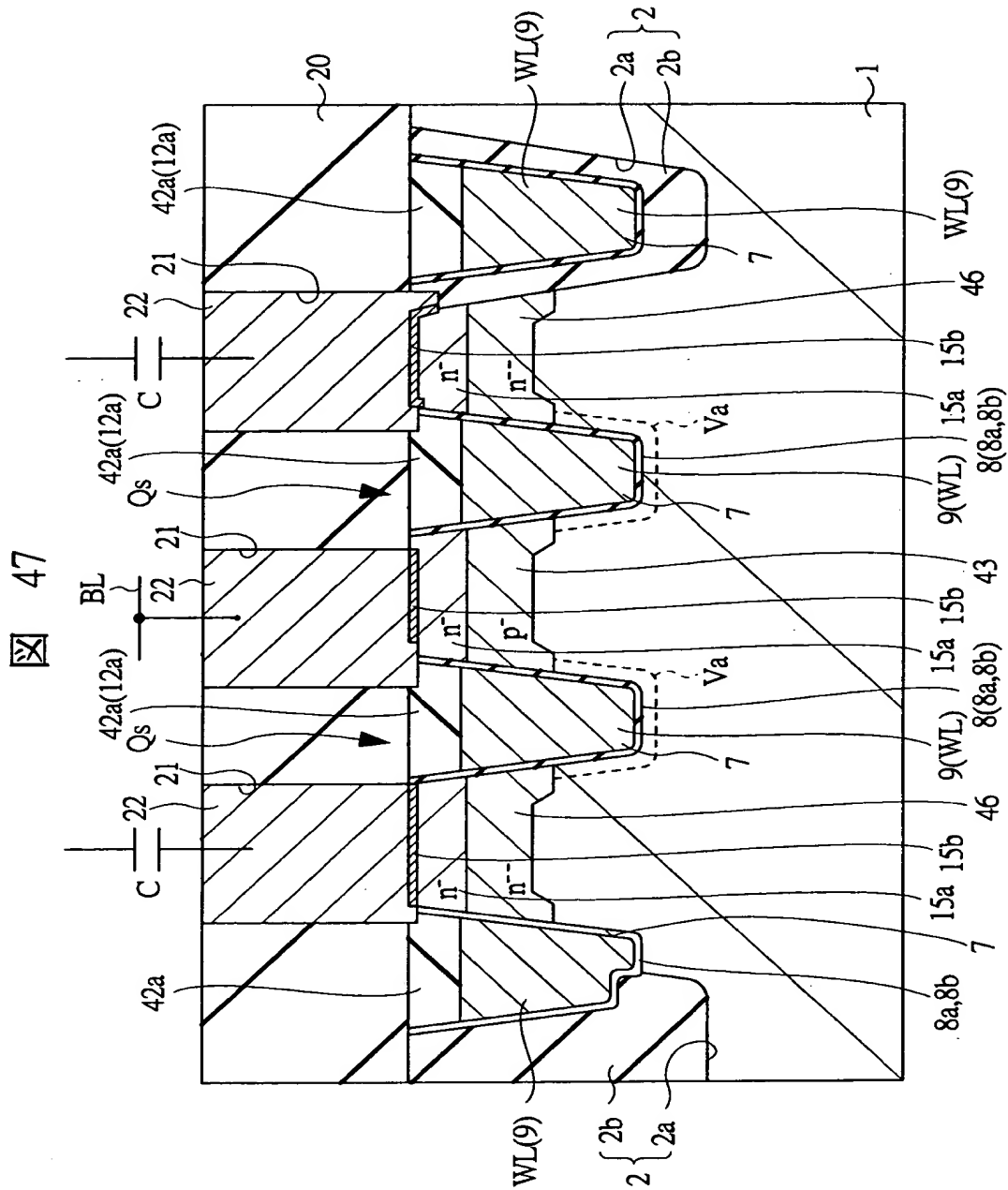


【图 4 6】

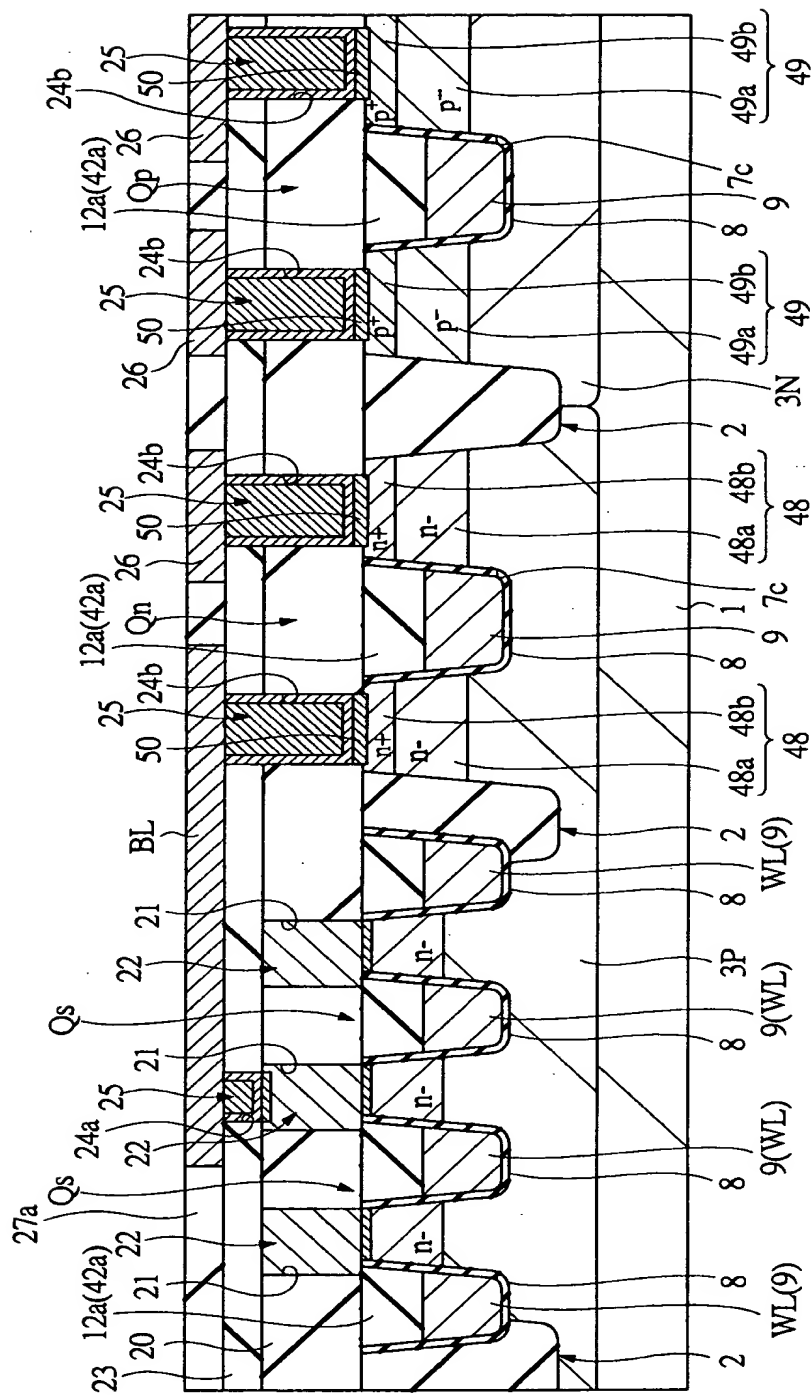
図 46



【図 4 7】



【图 4 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電界効果トランジスタのソース・ドレイン用の半導体領域における接合電界強度を低減する。

【解決手段】 D R A M のメモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s のゲート電極 9 を半導体基板 1 に掘られた溝 7 a , 7 b 内に埋め込む構造とした。溝 7 b 内の底部角の曲率半径をメモリセル選択用 M I S ・ F E T Q s のサブスレッショルド係数に応じて丸みがあるように形成した。また、溝 7 b 内のゲート絶縁膜 8 を熱酸化膜と C V D 膜との積層構造とした。

【選択図】 図 2 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
氏 名 株式会社日立製作所